MATEMATIZAÇÃO E O ENSINO DE FÍSICA

GABRIELA HELENA GERALDO ISSA MENDES

Editora Poisson

Gabriela Helena Geraldo Issa Mendes

Matematização e o ensino de Física

1ª Edição

Belo Horizonte

Editora Poisson

2023

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Ms. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
Msc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Ms. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M538 MENDES, Gabriela Helena Geraldo Issa

Matematização e o ensino de Física / Gabriela Helena Geraldo Issa Mendes – Belo Horizonte– MG: Editora Poisson, 2023

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-270-9
DOI: 10.36229/978-65-5866-270-9
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Matematização 2. História e filosofia da ciência 3. Ensino de Física 4. Formação de Professores 5. Pêndulo Simples I. MENDES, Gabriela Helena Geraldo Issa II.Título

CDD-370

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

Autora

Graduada em Matemática, modalidade Licenciatura Plena - com habilitação em Física, pela Fundação Educacional do Município de Assis (2009), Especialista em Física para o novo Ensino Médio pela Universidade Estadual de Londrina (2012), Mestra em Ensino de Ciências e Educação Matemática pela Universidade Estadual de Londrina (2014), Doutora em Ensino de Ciências e Educação Matemática pela Universidade Estadual de Londrina (2018). Atuou como professora de Matemática e Física no Ensino Fundamental e Médio. Atuou por 8 anos como professora na Universidade Paulista UNIP - Campus Assis, lecionando disciplinas de Física nos cursos de Engenharia e orientando trabalhos de conclusão de curso de Pedagogia (modalidade EAD). Atualmente é professora Colaboradora no curso de Licenciatura em Matemática na Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), campus Cornélio Procópio.

Prefácio

Este livro é o resultado de anos de dedicação e estudos da autora em sua jornada no Ensino de Ciências e Educação Matemática. Fruto dessa trajetória acadêmica, que iniciou em 2006, ano em que a autora deste se graduou em Matemática com habilitação em Física pela Fundação Educacional do Município de Assis (FEMA). Ainda cabe destacar que, durante a graduação, foi estagiária no KUMON, professora plantonista e professora substituta em escolas particulares da cidade, o que lhe proporcionou um contato direto com os desafios enfrentados por professores e alunos na sala de aula.

Desde então, em sete anos de dedicação e comprometimento com a pós-graduação (entre especialização, mestrado e doutorado, na Universidade Estadual de Londrina) sua carreira foi marcada por inúmeras oportunidades e obstáculos. Dentre estes, devo destacar a dificuldade de ser mulher em nossa sociedade patriarcal, tendo a autora de equilibrar o desafio de exercer os múltiplos papéis de ser mãe, esposa e excelente cientista.

Sob a orientação da Profa. Dra. Irinéa de Lourdes Batista, a autora se aprofundou no estudo da matematização da Física, um tema que despertou seu interesse por ter dupla habilitação. Em sua monografia, abordou conceitos históricos do tema, apresentando um exemplar de matematização: “Galileu e o movimento uniformemente acelerado”. Em sua dissertação de mestrado, aprofundou este conceito e acrescentou noções de Natureza da Ciência, História da Ciência e uma discussão a respeito do Ensino de Física no Brasil. Na tese de doutorado, a autora aliou a Modelagem Matemática ao Ensino de Física, tendo em vista a Epistemologia da Ciência, elaborando uma discussão importante sobre o Ensino de Ciências e Matemática.

Essa extraordinária trajetória culminou nesta obra que, com grande satisfação, lhes apresento.

No primeiro capítulo deste livro, Gabriela apresenta um panorama da atual situação do Ensino de Ciências e Matemática no Brasil, com base no Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA), destacando que o Brasil se encontra nas últimas posições. E em um esforço para refletir sobre essa realidade e propor encaminhamentos, a autora discute a relação entre a Física e a Matemática, bem como o

papel da História e Filosofia da Ciência no ensino dessas disciplinas. Além disso, aborda a importância da interdisciplinaridade e do ensino interdisciplinar, bem como a epistemologia na prática do professor e saberes docentes.

Já no segundo capítulo, a obra apresenta uma discussão aprofundada sobre a epistemologia da Ciência e a matematização da Física, destacando o uso da Matemática nas Ciências Naturais e suas características na Modelagem Matemática, por vezes confundidas como sinônimos.

No terceiro capítulo, promove uma síntese histórica do processo de matematização do pêndulo simples.

E a partir do desenvolvimento metodológico apresentado, no quarto capítulo, Gabriela descreve a delimitação do tema, as questões que compuseram o questionário, o desenvolvimento e a metodologia escolhida para análise dos dados empíricos da pesquisa.

No quinto capítulo, descreve o processo de coleta de dados e discute apresentando as respostas dadas pelos professores referentes a cada questão, devidamente unitarizadas, bem como sua análise e considerações finais a respeito dessa importante pesquisa.

Por fim, este livro é fruto de uma jornada intensa e dedicada, que compartilha seus conhecimentos e aprendizados com os leitores. Com uma linguagem clara e objetiva, Gabriela expõe suas reflexões e contribuições para o Ensino de Ciências e Educação Matemática, abordando temas relevantes como a matematização da Física, a Natureza da Ciência, a História da Ciência e a Modelagem Matemática.

Garanto que esta obra será uma fonte de inspiração para professores, pesquisadores e estudantes que buscam aprimorar seus conhecimentos e contribuir para o desenvolvimento da educação em nosso país. Parabenizo a autora por sua dedicação e empenho em sua jornada acadêmica.

Prof. Dr. Ricardo Aparecido Campos

Vice Reitor da UENP (Universidade Estadual do Norte do Paraná)

Agradecimentos

A Deus, que me deu vida, sabedoria e força para chegar até aqui.

Aos meus pais, Sueli e Roberto, que não mediram esforços para me oferecerem o melhor em tudo. Obrigada pelos exemplos, pelo amor, por acreditarem em mim e investirem na realização dos meus sonhos.

Ao meu marido, Mauro, pelo apoio incondicional, pela paciência nas horas difíceis, pelas palavras de encorajamento e, acima de tudo, pelo seu amor. Obrigada por ficar ao meu lado.

Aos meus filhos, Calebe e Daniel, que vieram completar minha vida e me dar meu título mais importante, 'mãe'. Meus filhos, vocês são minha alegria, tudo que faço é por vocês. Os amo para sempre.

Ao meu irmão, Elias, por sempre me fazer sentir mais importante do que realmente sou. À minha cunhada Isabella, pelo carinho e companheirismo de sempre.

À minha orientadora, Profª. Drª. Irinéa, pelas orientações e por ter compartilhado comigo seus conhecimentos durante sete anos.

Aos professores, Profª. Drª. Bernadete Barbosa Morey e Prof. Dr. Osmar Henrique Moura da Silva, pelas valiosas contribuições no Exame de Qualificação e Defesa.

Aos integrantes do grupo de estudos IFHIECEM, pelos momentos de estudos, pesquisa e extensão vivenciados, mas, acima de tudo, pela amizade e companheirismo.

A um amigo muito especial que me incentivou a publicar este livro, Prof. Dr. Ricardo Aparecido Campos. Obrigada pelo apoio e pela amizade.

Sumário

Introdução **10**

Capítulo 1: Fundamentação teórica **12**

1.1. A atual situação do ensino de Ciências e Matemática no Brasil 12

1.2. Reflexão a respeito do ensino de Física: A relação entre a Física e a Matemática 17

1.3. A história e a filosofia da Ciência no ensino de Ciências e Matemática 19

1.4. A questão da interdisciplinaridade 27

1.5. Epistemologia e saberes docentes 24

Capítulo 2: A matematização **29**

2.1. Epistemologia da Ciência e a matematização 29

2.2. Matematização: Uma visão geral 30

2.3. Matematização da Física 31

2.4. Matematização e modelagem Matemática 34

Capítulo 3: Um episódio histórico de matematização na Física **38**

3.1. O papel da história nesta pesquisa 38

3.2. Síntese histórica da matematização do pêndulo simples 39

Sumário

Capítulo 4: Procedimentos metodológicos **51**

4.1. Investigação qualitativa 52

4.2. Elaboração do questionário 52

4.3. Análise de conteúdo para análise e compreensão dos dados 54

Capítulo 5: Apresentação e análise dos dados **57**

5.1. A respeito dos professores que responderam o questionário 57

5.2. Apresentação e análise dos dados 60

5.3. Análise geral 89

Considerações finais **90**

Referências **92**

Anexo A – Carta de Galileo a Guidobaldo Del Monte **98**

Introdução

Após cursar Licenciatura Plena em Matemática – com habilitação em Física –, recebi muitos convites para lecionar a disciplina de Física. Com o intuito de me aperfeiçoar, iniciei a Especialização em Física para o Novo Ensino Médio, na Universidade Estadual de Londrina (UEL). Durante o curso, minha orientadora, que veio a me orientar também nesta pesquisa, sugeriu estudar a matematização da Física atrelada à História da Ciência. Após muitos estudos e leituras, concluí em 2012 minha monografia intitulada Matematização da Física: uma Discussão de Episódios Históricos.[1]

Compreendendo o quão vasto é esse assunto e que há poucos trabalhos publicados, decidiu-se ampliar o tema da monografia, o que resultou nesta dissertação.

Em ambos os trabalhos, iniciamos com uma reflexão a respeito do ensino de Física, tanto no nível Médio quanto no Superior, e, por meio de dados estatísticos e conversas com docentes da área, constatamos uma dificuldade na aprendizagem de conceitos físicos, por parte dos estudantes, quando há conteúdos matemáticos envolvidos. Percebemos também um ensino de Física totalmente matematizado, focado na apresentação de fórmulas e leis matemáticas, além de exercícios descontextualizados e de resolução técnica. Nesse contexto escolar, encontramos alunos e professores desmotivados.

> O ensino, tanto da Física como de outras áreas do conhecimento, acontece no cenário cinzento da passividade, da falta de interesse e da apatia. Os estudantes parecem estudar apenas para passar de ano, enquanto que os professores parecem ensinar apenas para conseguir os seus, em geral, magros salários (ROBILOTTA, 1988, p. 8).

A despeito da anterioridade dessa referência, esse mal continua a assolar o ensino de Ciências e também outras áreas do conhecimento, o que tem afastado fortemente os alunos de seguir as carreiras científicas.

A despeito da anterioridade dessa referência, esse mal continua a assolar o ensino de Ciências e também outras áreas do conhecimento, o que tem afastado fortemente os alunos de seguir as carreiras científicas.

Diante dessa realidade, começamos a pensar em possíveis alternativas que pudessem mudar esse quadro. Sabemos da importância da linguagem matemática para a formulação de leis e conceitos físicos, porém tal relevância não é explicitada em sala de aula. Alunos e professores não sabem o porquê de usar a Matemática em determinadas situações e o que levou os cientistas a utilizar tais conceitos matemáticos.

[1] ISSA MENDES, Gabriela, H. G. **Matematização da Física: uma Discussão de Episódios Históricos**. 2012. Monografia (Especialização em Física para o Novo Ensino Médio) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

Acreditamos que uma alternativa para amenizar essa crise é a inserção da História da Ciência. Pierre Duhem (1861-1916), físico e historiador, afirmou que "O único método legítimo, seguro, fecundo para preparar o espírito a receber uma hipótese física, é o método histórico" (Duhem, 1981 apud GIBERT, 1982, p. 39). Essa afirmação justifica-se pelo fato de que uma abordagem histórica, além de ser uma fonte contextualizadora, permite-nos entender os caminhos escolhidos pelos cientistas e os "porquês" de suas opções.

Nesse contexto, o problema que motivou este estudo consistiu em investigar o papel da matematização na Física e em seu ensino. Para tanto, foi feita uma discussão teórico-metodológica de como se dá a matematização nas Ciências, bem como um estudo no domínio educativo. Realizamos, ainda, a fim de exemplificar o processo de matematização de um conteúdo físico, uma síntese histórica da matematização do pêndulo simples.

Para um estudo de caso específico na área de ensino de Física, em que buscamos desenvolver um estudo problematizado do atual quadro da realidade escolar e com o objetivo de conhecer as noções de professores de Física a respeito dessa temática, elaboramos e aplicamos um questionário para docentes que lecionam a disciplina de Física tanto no Ensino Médio quanto no Superior. Por meio dos registros dos discursos desses professores e fundamentados nos referenciais teóricos que subsidiam a pesquisa, procuramos estabelecer alguns elementos que evidenciam a presença dos conhecimentos da História da Ciência na estruturação do conceito de matematização, o papel desempenhado pela Matemática no ensino e seus desdobramentos. Assim, a pesquisa apresenta características qualitativas, uma vez que procurou-se compreender e analisar o fenômeno pesquisado.

Capítulo 1

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. A ATUAL SITUAÇÃO DO ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA NO BRASIL

Não é preciso levantamentos estatísticos para corroborar que o desempenho dos alunos brasileiros nas disciplinas de Ciências e Matemática é insatisfatório. Em uma conversa informal nas salas de professores Brasil afora, é possível constatar essa triste realidade. Mas, para visualizarmos o desempenho dos alunos nas disciplinas de Ciências e Matemática de uma forma global, recorremos a alguns programas que indicam e comparam o desempenho escolar de alguns países.

Um desses programas é o Programme for International Student Assessment (PISA) , que tem por objetivo produzir indicadores que contribuam para a discussão da qualidade da educação nos países participantes. Optamos em utilizar os dados desse programa por ser a avaliação educacional com maior abrangência no mundo.

Uma avaliação é aplicada a estudantes na faixa dos 15 anos, por ser a idade limite para o término da escolaridade básica obrigatória na maioria dos países. No Brasil, esse critério abrange estudantes matriculados entre o 9º ano do Ensino Fundamental e a 3ª série do Ensino Médio.

O programa é desenvolvido e coordenado pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). No Brasil, o PISA é coordenado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP).

As avaliações do PISA são aplicadas a cada três anos, tendo início em 2000, e abrangem três áreas do conhecimento: Leitura, Matemática e Ciências – havendo, a cada edição, maior ênfase em cada uma dessas áreas. Em 2000, o foco foi em Leitura; em 2003, em Matemática e, em 2006, Ciências. Em 2009, iniciou-se um novo ciclo do programa com foco novamente em Leitura; em 2012, foi em Matemática e, em 2015, o foco será em Ciências. A área enfatizada concentra aproximadamente 60% das questões nas provas, restando para as outras duas áreas aproximadamente 20% cada uma. O Brasil participa do PISA desde sua primeira edição.

No quadro a seguir está descrita a quantidade de países, membros e não membros da OCDE, que participaram de cada edição do PISA.

Quadro 1 – Número de países participantes do PISA.

Ano	Países membros da OCDE	Outros países participantes	Total de países participantes
2000	28	15	43
2003	30	11	41
2006	30	27	57
2009	34	31	65
2012	34	31	65

Fonte: Inep (2013b).

Segundo o Inep, o Brasil, em 2000, avaliou 4.893 alunos no PISA, em 2003, 4.452 alunos. Já em 2006, a amostra brasileira foi ampliada para 9.295 alunos. Em 2009, a amostra foi de 20.127 alunos. No PISA 2012, a amostra brasileira ficou muito próxima da amostra de 2009. A novidade de 2012 foi a aplicação de testes de Matemática, Leitura e Solução de Problemas por meio eletrônico, a uma subamostra de cerca de 4.000 alunos. As provas do PISA são elaboradas em torno de unidades de avaliação formadas por textos, tabelas, fotos e/ou gráficos envolvendo problemas cotidianos.

Buscando investigar o letramento em Leitura, Matemática e Ciências, são abordados múltiplos aspectos dos resultados educacionais. Assim, o PISA procura identificar a operacionalização de esquemas cognitivos em termos de:

- Conteúdos ou estruturas do conhecimento que os alunos precisam adquirir em cada área;
- Competências para aplicação desses conhecimentos;
- Contextos em que conhecimentos e competências são aplicados.

Tendo em vista os objetivos e o mecanismo do PISA, apresentaremos o desempenho do Brasil nesse programa. No quadro a seguir, estão representadas as médias recomendadas pela OCDE de cada ano de aplicação, comparada com a média do Brasil.

Quadro 2 – Evolução do PISA.

	2000	2003	2006	2009	2012
Média recomendada pela OCDE	496	498	493	496	494
Média do Brasil	368	383	384	401	402

Fonte: Inep (2013a).

De acordo com a média dos quatro anos de aplicação, o Brasil está com uma nota média 22,5% abaixo do recomendado pela OCDE. De 2000 para 2009 o Brasil obteve uma evolução de quase 9%, mas ainda frequentamos as últimas posições do ranking dos países participantes do programa.

Considerando que as áreas de conhecimento envolvidas nessa pesquisa sejam Ciências e Matemática, apresentaremos a seguir o desenvolvimento do Brasil nessas disciplinas.

O Quadro 3 mostra as notas e a classificação do Brasil na disciplina de Matemática no decorrer dos anos, comparadas com os países que foram classificados em 1º lugar e com os que foram classificados em último lugar.

Quadro 3 – Evolução da área de Matemática no PISA.

Ano	Brasil		1º colocado		Último colocado		
	Nota	**Class.**	**País**	**Nota**	**País**	**Nota**	**Class.**
2000	334	42º	Holanda	564	Peru	292	43º
2003	356	41º	China[2] (Hong Kong)	550	**Brasil**	356	41º
2006	370	54º	China (Taiwan)	549	Quirguistão	311	57º
2009	386	57º	China (Xangai)	600	Quirguistão	331	65º
2012	391	58º	China (Xangai)	613	Peru	368	65º

Fonte: Inep (2013b).

Ao observar os dados, algo preocupante e que nos chama atenção no ano de 2003, em que o foco da avaliação foi a disciplina de Matemática, é o fato de que o Brasil ficou em último lugar entre 41 países, ficando atrás da Tunísia, Indonésia, México e Tailândia, que, juntamente com o Brasil, foram os cinco últimos classificados. Em 2012, com foco novamente em Matemática, o Brasil apresentou uma expressiva evolução, recebendo, segundo o Inep (2013b), o título de 1º colocado na lista de evolução em desempenho na área foco (Matemática).

Descreveremos abaixo um resumo das características, conteúdo, processo e situação da avaliação de Matemática no ano de 2003.

[2] Por serem províncias autônomas, Xangai, Hong Kong, Taiwan e Macau participam de forma independente no PISA e são classificadas como países.

Quadro 4 – Resumo da avaliação de Matemática do PISA 2003.

Definição e características	A capacidade de um indivíduo de identificar e compreender o papel que a Matemática desempenha no mundo real, de fazer julgamentos bem fundamentados e de usar e se envolver na resolução matemática das necessidades da sua vida, enquanto cidadão construtivo, preocupado e reflexivo. Relaciona-se com o uso mais abrangente e funcional da Matemática; o envolvimento requer a capacidade de reconhecer e formular problemas matemáticos em várias situações.
Dimensão do Conteúdo	Núcleos de áreas e conceitos matemáticos relevantes: • quantidade; • espaço e forma; • mudança e relações; e • incerteza.
Dimensão do Processo	As constelações de competências definem as capacidades necessárias para a Matemática: • reprodução (operações matemáticas simples); • conexão (ligar ideias para resolver problemas de resolução direta); e • reflexão (pensamento matemático mais abrangente).
Dimensão da situação	As situações variam de acordo com sua distância em relação às vidas dos indivíduos: • pessoal; • trabalho e lazer; • comunidade local e sociedade; e • científica.

Fonte: GAVE (2004b, p.10).

De acordo com o Quadro 4, podemos observar que a avaliação de Matemática não exigia que os alunos soubessem fórmulas decoradas, mas sim que pudessem aplicar, com cálculos simples, os conhecimentos matemáticos a situações comuns do cotidiano. E mesmo as características da prova sendo consideradas relativamente simples e necessárias para o dia a dia do estudante, o Brasil amargou o último lugar do ranking PISA.

Já em 2006, o foco da avaliação foi a disciplina de Ciências. O quadro a seguir apresenta a evolução do Brasil em Ciências no decorrer dos anos, comparada com os países que foram classificados em 1º lugar e com os que foram classificados em último lugar.

Quadro 5 – Evolução da área de Ciências no PISA.

Ano	Brasil		1º colocado		Último colocado		
	Nota	Class.	País	Nota	País	Nota	Class.
2000	375	42º	Coreia do Sul	552	Peru	333	43º
2003	390	40º	Finlândia	548	Tunísia	385	41º
2006	390	52º	Finlândia	563	Quirguistão	322	57º
2009	405	53º	China (Xangai)	575	Quirguistão	330	65º
2012	405	59º	China (Xangai)	580	Peru	373	65º

Fonte: Inep (2013b).

Como podemos obeservar no Quadro 5, o desempenho do Brasil em Ciências foi melhor do que em Matemática, mas no ano em que o foco foi Ciências, 2006, o Brasil ficou na frente apenas de: Colômbia, Tunísia, Azerbaijão, Catar e Quirguistão. Já em 2012, não houve evolução na nota em relação a 2009, porém a posição no ranking caiu.

Descreveremos a seguir um resumo das características, conteúdo, competências e contexto da avaliação de Ciências no ano de 2006.

Quadro 6 – Resumo da avaliação de Ciências do PISA 2006.

Definição e características	O grau em que o indivíduo: • possui conhecimento científico e o emprega para identificar perguntas, adquirir novos conhecimentos, explicar fenômenos cientificamente e extrair conclusões sobre evidências científicas; • entende as características que diferenciam a Ciência como uma forma de conhecimento e investigação; • demonstra saber como a ciência e a tecnologia influenciam nosso ambiente material, intelectual e cultural; • demonstra interesse por temas científicos.
Domínio e conhecimento	Conhecimento de Ciências como: • sistemas físicos; • sistemas vivos; • Terra e sistemas espaciais; • sistemas tecnológicos. Conhecimento sobre Ciências como: • investigação científica; • explicações científicas.
Competências	Tipos de tarefas ou processos científicos: • identificar questões científicas; • explicar fenômenos cientificamente; • utilizar evidência científica.
Contexto e situação	A área de aplicação da Ciência, centrada em seu emprego em relação a contextos pessoais e globais, como: • saúde; • recursos naturais; • fenômenos naturais; • limites da Ciência e da tecnologia.

Fonte: Inep (2008, p. 37).

Muitos são os motivos do mau desempenho do Brasil no PISA e no rendimento acadêmico dos alunos nas escolas, e consequentemente no Ensino Superior, porém o foco desta pesquisa não é discutir esses motivos, nem apresentar soluções para essa crise. Nosso intuito com esse levantamento do PISA é situar o leitor sobre o atual desempenho no ensino de Ciências e Matemática na Educação Básica do Brasil.

1.2. REFLEXÃO A RESPEITO DO ENSINO DE FÍSICA: A RELAÇÃO ENTRE A FÍSICA E A MATEMÁTICA

Diariamente professores que lecionam a disciplina de Física, tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior, utilizam a Matemática para definir leis, conceitos e para resolver exercícios. Porém, muitos professores não conseguem definir o papel da Matemática na Física.

Entendemos que a Matemática é uma linguagem escolhida pela Física para melhor e mais precisamente expressá-la. Poincaré (1854-1912), no início do século XX, já destacava esse papel da Matemática para o físico.

> Todas as leis, pois, provêm da experiência, mas para enunciá-la é preciso uma linguagem especial; a linguagem corrente é demasiado pobre, e aliás muito vaga para exprimir relações tão delicadas, tão ricas e tão preciosas. Eis portanto uma primeira razão pela qual o físico não pode prescindir da matemática; ela lhe fornece a única linguagem que ele pode falar (POINCARÉ, 1995, p. 91).

E como qualquer linguagem, a Matemática, que tem seus signos próprios e seu sistema de representação consolidado, deve ser bem manejada pelos físicos e aprendizes da Física. Segundo Moreira (2003, p. 10), dominar a linguagem de uma Ciência é a chave da compreensão de um conhecimento.

> Cada linguagem, tanto em termos de seu léxico como de sua estrutura, representa uma maneira singular de perceber a realidade. Praticamente tudo o que chamamos de "conhecimento" é linguagem. Isso significa que a chave da compreensão de um "conhecimento", ou de um "conteúdo" é conhecer sua linguagem.

Entretanto, temos visto uma crise no ensino de Física devido ao mau uso da linguagem matemática. Em muitos casos, atribui-se o não aprendizado da Física à falta de domínio matemático, como salienta Pietrocola (2002, p. 90), ao afirmar que "no ensino de Física, a linguagem matemática é muitas vezes considerada a grande responsável pelo fracasso escolar".

Já as Diretrizes Curriculares de Física do Paraná indicam que o saber matemático não pode ser decisivo para aprender Física.

> Ainda que a linguagem matemática seja, por excelência, uma ferramenta para essa disciplina, saber Matemática não pode ser considerado um pré-requisito para aprender Física. É preciso que os estudantes se apropriem do conhecimento físico, daí a ênfase aos

> aspectos conceituais sem, no entanto, descartar o formalismo matemático (PARANÁ, 2008, p. 56).

Esse atributo de vilã, conferido à Matemática, é reflexo de um ensino de Física puramente matemático, cheio de fórmulas prontas e, muitas vezes, sem a discussão do porquê de estar utilizando-as. Matthews (1995, p.165), afirma que um "mar de falta de significação" tem "inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam". A grande maioria dos alunos não entende o que essas fórmulas representam, nem a razão de usar tanta Matemática.

Nas Diretrizes Curriculares de Física do Paraná, há um alerta a respeito do reducionismo do ensino de Física à Matemática.

> Para que o estudante tenha uma compreensão do conhecimento físico trabalhado na escola, é preciso indicar-lhe que as fórmulas matemáticas representam modelos simplificados da equação produzida pela ciência. Esses modelos são elaborações humanas, criadas para entender determinado fenômeno ou evento físico, válidos para determinados contextos históricos. Portanto, é reducionista e insuficiente ensinar Física, tão somente, por meio de questões como: considere, suponha, resolva e calcule (PARANÁ, 2008, p. 67).

O aluno não pode apenas saber reproduzir o conteúdo físico, como exigido em questões com enunciados "resolva" e "calcule". Esse ensino distorcido gera uma visão tecnicista e acrítica da Ciência, gerando a falsa sensação de uma Ciência pronta e acabada.

> [...] Essa Física excessivamente lógica, cristalina e límpida é precisamente falsa: ao identificarmos o processo ao produto, estamos afastando dela os estudantes. A apologia da lógica torna a ciência sobre-humana aos olhos dos estudantes, superior às possibilidades dos mortais (ROBILOTTA, 1988, p. 17).

Batista (2004, p. 468) ressalta que "a linguagem matemática tem sua própria lógica, que é relativamente independente da lógica de um processo físico e, por essa razão, reproduz o conteúdo físico indiretamente". Por essa razão, é preciso que professores e alunos saibam que Física não é Matemática e entender que a linguagem matemática não substitui o conhecimento físico.

> A redução da Física à pura técnica, em certos casos; à técnica experimental e, em outros, à técnica matemática para a dedução lógica de consequências dos axiomas da teoria, evita questionamentos conceituais no seu ensino e gera uma formação limitada, estreita e acrítica. Assim, a investigação e o ensino da Física não devem ignorar simetricamente os avanços e os contrastes históricos que deram origem às ideias científicas atuais (BATISTA, 2004, p. 463).

Uma alternativa para minimizar esse ensino tecnicista, acrítico e tão distante do estudante é a inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC).

1.3. A HISTÓRIA E A FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Como discutido no tópico anterior, o ensino de Física e de Ciências em geral tem enfrentado um período crítico, e o que vemos é o um ensino tecnicista e repleto de fórmulas que respondem perguntas do tipo "resolva".

Uma alternativa para amenizar essa crise é a inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências e Matemática.

> A história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tomar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas (MATTHEWS, 1995, p. 165).

Nessa citação, Matthews expõe alguns benefícios da inserção da HFC no ensino, que vem preencher algumas lacunas que encontramos no ensino de Ciências.

Uma queixa constante por parte de professores trata-se do grande desinteresse dos alunos nas aulas de Ciências, sendo um dos motivos o distanciamento do conteúdo ensinado com a realidade do estudante. E a grande questão é: como atrair o aluno à Ciência? Uma possível resposta está na citação a seguir.

> A introdução da dimensão histórica pode tornar o conteúdo científico mais interessante e mais compreensível exatamente por trazê-lo para mais perto do universo cognitivo não só do aluno, mas do próprio homem, que, antes de conhecer cientificamente, constrói historicamente o que conhece (CASTRO; CARVALHO, 1992, p. 228).

Além de tornar o conteúdo mais interessante, o contexto histórico mostra-se um importante recurso para tirar a impressão de que os cientistas eram gênios. Muitos alunos pensam que, em um belo dia, um cientista, que não tinha mais nada para fazer, acordou e disse: "vou inventar alguma coisa hoje". Bem sabemos que essa visão ingênua não retrata a realidade, que as grandes "descobertas" surgiram de necessidades humanas e que, para se chegar a uma teoria final, um longo caminho de erros e de acertos foi trilhado. O problema é que esse caminho tortuoso não é mencionado no ensino de Ciências e o aluno

não sabe o porquê de tal teoria ou conteúdo existirem, nem como se chegou àquele resultado. Por essas razões, entendemos que

> [...] uma discussão com abordagem histórico-filosófica recria o ambiente contextualizador que permite entender a origem da problemática, do desafio conceitual e/ou empírico – como se apresentaram as questões, as hipóteses, os elementos conflitantes – e os desenvolvimentos subsequentes, atingindo os conhecimentos procedimentais (os *comos*) além dos declarativos (o quê), para uma reestruturação fundamental, no sentido de ruptura com as bases conceituais e empíricas originais (BATISTA, 2004, p. 473).

Assim como ressaltado por Batista (2004), exibir o problema histórico mostra-se um interessante instrumento contextualizador, pois expõe a problemática que deu origem ao conceito em questão. Trilhar esses passos, expondo os erros e acertos, leva o aluno a perceber que ele também pode fazer Ciência.

> Ou seja, quando ele discute de onde vieram certas ideias, como evoluíram para chegar onde estão ou mesmo quando questiona os caminhos que geraram tal evolução, de certa forma ele nos dá indícios de que reconhece tais conceitos como objeto de construção e não como conhecimentos revelados ou meramente passíveis de transmissão. Buscar razões parece indicar um comprometimento maior com o que se estuda e se, além disso, o aluno argumenta, ele dá mostras de estar reconhecendo-se também como sujeito construtor de saber (CASTRO; CARVALHO, 1992, p. 233).

Um dos benefícios da HFC é a promoção de um ensino crítico, pois o próprio aluno pode questionar os passos dados pelos cientistas e propor alternativas.

> No ensino da Física, um papel possível para a história seria o de constituí-la como uma fonte de visões alternativas do universo, passíveis de serem contrastadas com a versão oficial, ensinada nas escolas. O reconhecimento da existência de soluções alternativas a um dado problema promove o desenvolvimento de uma postura crítica, porque leva a pessoa a optar. Para optar, é preciso haver critérios. A não unicidade de critérios leva cada um a se posicionar, forçando uma postura menos passiva frente ao conhecimento (ROBILOTTA, 1988, p. 17-18).

Mas, para que possamos experimentar esses benefícios proporcionados pela HFC no ensino de Ciências e Matemática, é preciso que os futuros professores tenham contato com a HFC em sua formação inicial, pois é o professor que conduzirá os alunos por essa experiência de ensino e "um professor de ciências com conhecimento de HFS[3] pode auxiliar os estudantes a compreender exatamente como a ciência apreende, e não

[3] História, Filosofia e Sociologia.

apreende, o mundo real, vivido e subjetivo" (MATTHEWS, 1995, p. 185). Por essa razão, defendemos a inserção da HFC na formação de professores.

> Os que defendem HFS tanto no ensino de ciências como no treinamento de professores, de uma certa forma, advogam em favor de uma abordagem contextualista, isto é, uma educação em ciências, onde estas sejam ensinadas em seus diversos contextos: ético, social, histórico, filosófico e tecnológico; o que não deixa de ser um redimensionamento do velho argumento de que o ensino de ciências deveria ser, simultaneamente, em e sobre ciências (MATTHEWS, 1995, p. 166).

Outro benefício que a História da Ciência pode oferecer ao futuro professor, em sua formação, é a compreensão das dificuldades envolvidas no processo de construção de determinado conhecimento e toda a sua complexidade.

> [...] Conhecer o passado das ideias e buscar compreender o progresso delas pode ajudar a entender a ciência como um recorte da realidade que se relaciona com outras atividades humanas, com outros diferentes recortes. O professor em formação poderá inteirar-se dos obstáculos que travaram o desenvolvimento da ciência, as dificuldades de percurso ao longo da evolução das ideias e conteúdos, e isto poderá fazer com que ele não subestime as dificuldades de seus alunos e reconheça a complexidade de certos conceitos que ensina [...] (CASTRO; CARVALHO, 1992, p. 232).

Há um ponto importante a ser destacado, não basta inserir a HFC se for apenas transmitida uma história linear, com muitas datas e especulações, premiando seus "pais" e os vencedores.

> No ensino, entretanto, é preciso tomar cuidado com a história linearizada, ufanista. De nada adianta apresentar a ciência como um produto a ser venerado, admirado à distância, de modo a fazer com que os estudantes adquiram um sentimento de inferioridade. Quando se promove desse modo o triunfo da ciência, a nossa humanidade sai perdendo (ROBILOTTA, 1988, p. 18).

É preciso pensar na forma mais adequada para abordar a HFC no ensino e, ao preparar um plano de aula, o professor deve fazer os seguintes questionamentos:

> Que tipo de história da ciência pode ser levada para sala de aula e que papel ela poderia desempenhar no curso como um todo? Até que ponto é frutífero e possível transformar uma postura em relação ao conhecimento em uma ferramenta institucional? Em que momentos de um curso comum caberiam as atividades que pretendíamos elaborar? As dificuldades advindas de tais investidas seriam compensadas pelo aproveitamento de informações ou simplesmente estaríamos trabalhando em termos de atitudes? (CASTRO; CARVALHO, 1992, p. 227).

Outro ponto que precisamos destacar é que aula de História da Física não é aula de Física, nem aula de História da Matemática, aula de Matemática. Há de se ter bom-senso e utilizar a HFC como um instrumento contextualizador, que facilite a aprendizagem sem substituir os conteúdos do currículo.

> A história e a filosofia das ciências devem estar presentes para que os estudantes compreendam todo o processo de construção do conhecimento científico. É importante que não se confunda a presença da história e da filosofia no ensino das ciências com o ensino da história e da filosofia das ciências (GUERRA et al., 1998, p. 39).

Abordar a HFC de uma forma coerente e planejada aumenta as chances de se obter benefícios no ensino e na aprendizagem. Por todas essas razões, defendemos a História da Ciência no ensino e na formação de professores.

Todavia, não basta a inserção da História da Ciência sem a devida discussão filosófica a respeito da Natureza da Ciência, que pertence a uma linha de pesquisa dentro da área de História e Filosofia da Ciência.

> A natureza da ciência é usada para descrever a interseção das questões derivadas da filosofia, história, sociologia e psicologia da ciência, sua aplicação e potencial impacto no ensino e aprendizagem da ciência. Como tal, a natureza da ciência é um domínio fundamental para guiar o professorado de ciências numa correta descrição da Ciência ao estudantado (Mc COMAS; CLOUGH; ALMAZROA, 1998 *apud* ALMEIDA; FARIAS, 2011, p. 474).

Não há um consenso quanto à definição de Natureza da Ciência. Segundo Lederman (1992 *apud* LEDERMAN *et al.*, 2002, p. 498, tradução nossa), "NdC refere-se à epistemologia e sociologia da ciência, a ciência como uma forma de saber, ou os valores e as crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento".

Segundo Lederman *et al.* (2002), há uma diferença entre processo científico e NdC. As atividades relacionadas a coleta, conclusões e interpretação dos dados referem-se ao processo científico, enquanto que a NdC está preocupada com os valores e pressupostos epistemológicos subjacentes a essas atividades.

Vázquez *et al.* (2007) apresentam questões que fazem referência à NdC, e ainda:

> A natureza da ciência inclui a reflexão sobre os métodos para validar o conhecimento científico, os valores implicados nas atividades da ciência, as relações com a tecnologia, a natureza da comunidade científica, as relações da sociedade com o sistema tecnocientífico e as contribuições desta para a cultura e o progresso da sociedade. Este construto ou conceito faz referência a questões como: Que é ciência? Qual o seu funcionamento interno e externo? Como se constrói e desenvolve o conhecimento produzido pela ciência? Que métodos são usados para validar este conhecimento? Quais os valores implícitos nas atividades científicas? Qual é a natureza da comunidade científica? Quais

> foram e são as relações da ciência com a tecnologia até se constituir o atual sistema tecnocientífico? Quais são as relações da sociedade com este sistema? Quais são as contribuições para a cultura e progresso da sociedade? (VÁZQUEZ *et al*., 2007, p. 128).

Essas questões citadas por Vázquez *et al*. (2007) aparecem com frequência em sala de aula. Alguns alunos sentem a necessidade de saber e entender essas questões; porém, muitos docentes não estão preparados para promover discussões a respeito da NdC. Esse despreparo por parte dos professores é consequência de uma formação com ausência ou pobres discussões histórico-filosóficas da Ciência.

A falta de discussões a respeito da NdC acarreta uma série de noções equivocadas do conhecimento científico, tais como: acreditar que há uma receita com procedimentos passo a passo seguidos por todos os cientistas, o não entendimento de que o conhecimento científico é carregado de interpretações teóricas, entre outros. Lederman *et al.* (2002, p. 501, tradução nossa) ressaltam que "as teorias dos cientistas e os compromissos disciplinares, crenças, pré-concepções, formação, experiências, e expectativas efetivamente influenciam o seu trabalho".

Segundo um consenso possível a respeito da NdC, esta se baseia nos seguintes princípios:

> 1) as teorias científicas são tentativas; 2) as teorias não se convertem em leis ainda com evidência empírica adicional; 3) não há um método científico universal que indique os passos a seguir; 4) as observações são carregadas de teorias; 5) o conhecimento científico implica na observação, argumentos racionais, criatividade e ceticismo; 6) o progresso científico é caracterizado pela competição entre teorias rivais; 7) os cientistas podem interpretar os mesmos dados experimentais de forma diferente; 8) o desenvolvimento das teorias científicas, às vezes, está baseado em fundamentos inconsistentes; 9) as ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico. A esses princípios também se pode acrescentar: as ideias científicas também afetam a vida social, a cultura e a natureza (ALMEIDA; FARIAS, 2011, p. 482).

A reflexão desses princípios humaniza a Ciência e os cientistas, desmistificando-os, suprimindo a ideia de descoberta, da Ciência neutra e de um método infalível.

> A verdade é que os cientistas observam, comparam, medem, testam, especulam, deduzem hipóteses, criam ideias e instrumentos conceituais, e constroem teorias e explicações. No entanto, não existe uma única sequência de atividades (prescritas ou não) que infalivelmente levará a soluções ou respostas funcionais ou válidas, muito menos a certeza ou ao conhecimento verdadeiro (LEDERMAN *et al.*, 2002, p. 501-502, tradução nossa).

No sentido de promover o entendimento da NdC, a História da Ciência tem sido considerada como adequada. Tendo em vista um ensino histórico-filosófico, há que se refletir, ainda, no que diz respeito ao ensino interdisciplinar.

1.4. A QUESTÃO DA INTERDISCIPLINARIDADE

O termo 'interdisciplinaridade' não possui uma unanimidade quanto a uma definição única e estável na comunidade científica, porém o princípio é sempre o mesmo: "A interdisciplinaridade caracteriza-se pela intensidade das trocas entre os especialistas e pelo grau de integração real das disciplinas no interior de um mesmo projeto de pesquisa" (JAPIASSÚ, 1976 *apud* FAZENDA, 2011, p. 51).

Guy Michaud, em 1969, apresentou uma reflexão epistemológica em que foi elaborada uma distinção terminológica em quatro níveis: multi, pluri, inter e transdisciplinar. Assim sendo, os termos apresentam as seguintes definições:

> *Disciplina* - Conjunto específico de conhecimentos com suas próprias características sobre o plano do ensino, da formação dos mecanismos, dos métodos, das matérias.
>
> *Multidisciplina* - Justaposição de disciplinas diversas, desprovidas de relação aparente entre elas. Ex.: música + matemática + história.
>
> *Pluridisciplina* - Justaposição de disciplinas mais ou menos vizinhas nos domínios do conhecimento. Ex.: domínio científico: matemática + física.
>
> *Interdisciplina* - Interação existente entre duas ou mais disciplinas. Essa interação pode ir da simples comunicação de ideias à integração mútua dos conceitos diretores da epistemologia, da terminologia, da metodologia, dos procedimentos, dos dados e da organização referentes ao ensino e à pesquisa. Um grupo interdisciplinar compõe-se de pessoas que receberam sua formação em diferentes domínios do conhecimento (disciplinas) com seus métodos, conceitos, dados e termos próprios.
>
> *Transdisciplina* - Resultado de uma axiomática comum a um conjunto de disciplinas significados (ex. Antropologia, considerada "a ciência do homem e de suas obras", segundo a definição de Linton). (MICHAUD, 1972 *apud* FAZENDA, 2011, p. 54).

Explorando apenas o termo *interdisciplinaridade*, Boisot (1972 *apud* FAZENDA, 2011, p. 62-63) distingue três tipos:

> *a) Interdisciplinaridade Linear* - em que um conjunto de leis de uma disciplina pode ser aplicada com sucesso a outras (corresponderia à Interdisciplinaridade Auxiliar em Heckhausen). Segundo Boisot, a denotação linear advém da possibilidade de um modelo ser comum a duas ou mais disciplinas, ou seja, quando há a possibilidade de um conjunto de leis da determinada disciplina adaptar-se à outra. Como exemplo disto, tem-se a equação de propagação de

> D'Alembert aplicada à acústica, eletromagnetismo e mecânica ondulatória.
>
> *b) Interdisciplinaridade Estrutural* - a interação de duas ou mais disciplinas resulta na criação de um campo de leis novas, compondo a ossatura de uma nova disciplina (corresponderia à Interdisciplinaridade Unificadora em Heckhausen). Como exemplo disto, tem-se o eletromagnetismo, que hoje compreende não só a eletrostática e o magnetismo, como também as equações de Maxwell (que se constituem num prolongamento da relatividade einsteniana), originando uma disciplina totalmente nova e diversa das disciplinas que lhe deram origem.
>
> *c)Interdisciplinaridade Restritiva* - em dado projeto, cada disciplina delimita seu raio de ação, impondo certas restrições ou barreiras à interação com as demais (corresponderia à Pseudointerdisciplinaridade em Heckhausen).

Diante das definições e considerações supracitadas, adotaremos para esta pesquisa o conceito de interdisciplinaridade proposto por Fazenda (2011, p. 70), em que:

> Em nível de interdisciplinaridade, ter-se-ia uma relação de reciprocidade, de mutualidade, ou melhor dizendo, um regime de copropriedade que iria possibilitar o *diálogo* entre os interessados. Neste sentido, pode dizer-se que a interdisciplinaridade depende basicamente de uma *atitude*. Nela a colaboração entre as diversas disciplinas conduz a uma *"interação"*, a uma *intersubjetividade* como única possibilidade de efetivação de um trabalho interdisciplinar.

Ressaltamos que existem diferentes níveis de interdisciplinaridade e dentre eles destacamos a *interdisciplinaridade científica*, que "tem por finalidade a produção de novos conhecimentos" e a *interdisciplinaridade escola*r, que "tem por finalidade a difusão do conhecimento" (LENOIR, 2008, p. 52).

Tendo em vista a definição da terminologia e seus diferentes níveis, abordaremos a relação entre o ensino de Física e a Matemática. Muitos professores não entendem a interdisciplinaridade envolvida e, por vezes, dizem: "a Física acabou, agora é só Matemática". Essa visão equivocada de alguns professores prejudica o aluno no que diz respeito à visão de mundo. Segundo Guerra *et al.* (1998, p. 33),

> A extrema compartimentalização do conhecimento em disciplinas isoladas produz nos estudantes a falsa impressão de que o conhecimento e o próprio mundo são fragmentados. Tal visão implica numa formação que acaba sendo, na realidade, uma deformação.

E esse problema não é tão simples de ser solucionado, pois a formação da maioria dos professores é disciplinar, por isso percebemos a relutância por parte de muitos em adotar um ensino interdisciplinar.

> [...] A relutância dos professores em se engajar na educação interdisciplinar não é apenas uma questão de não saber como, apesar da literatura abundante, ou da força dos obstáculos, apesar da multiplicidade de estratégias e modelos já provados. Ela também surge da socialização disciplinar, que leva os professores a acreditarem que não estão fazendo seu trabalho da maneira como foram treinados para fazê-lo (KLEIN, 2008, p. 123).

Não estamos propondo que todo o currículo escolar seja interdisciplinar, ou que o professor de Física tenha que lecionar conteúdos matemáticos, mas que, nos momentos oportunos, a interdisciplinaridade seja abordada em sua amplitude, a ponto de os alunos enxergarem um exercício de Física que envolva cálculos como sendo um conhecimento único e não metade Física, metade Matemática.

> O que se pretende na interdisciplinaridade não é anular a contribuição de cada ciência em particular, mas apenas uma atitude que venha a impedir que se estabeleça a supremacia de determinada ciência, em detrimento de outros aportes igualmente importantes (FAZENDA, 2011, p. 59).

Batista e Salvi (2006, p. 155) destacam a interdisciplinaridade no ensino e alertam que todo esse discurso precisa chegar ao professor em formação:

> Assim, a interdisciplinaridade no ensino por nós proposta não significa um currículo interdisciplinar, mas sim um momento específico no amplo ato de ensinar e aprender, trata-se de uma interdisciplinaridade educativa, englobando a interdisciplinaridade escolar formal em ambientes alternativos. Aqui cabe uma reflexão sobre como atingir essa interdisciplinaridade e pensamos que o primeiro ato necessariamente passa pela formação de professores, seja a inicial ou a de capacitação em serviço; sem isso, o movimento para a sua implantação é artificial e o discurso é vazio.

Neste capítulo foram apresentadas discussões que expõem o mau desempenho do Brasil no PISA em Ciências e Matemática, a atual crise no ensino de Física, a importância da História e Filosofia da Ciência, bem como discussões a respeito da Natureza da Ciência e uma reflexão acerca da interdisciplinaridade. Porém, ainda falta uma discussão pertinente a este trabalho, que se refere à epistemologia da prática do professor e saberes docentes.

1.5. EPISTEMOLOGIA E SABERES DOCENTES

Como nosso objetivo foi conhecer as noções de professores a respeito do papel da matematização na Física e em seu ensino, é preciso refletir quanto aos saberes presentes no exercício da profissão docente e sua epistemologia.

> Chamamos de epistemologia da prática profissional o estudo do conjunto dos saberes utilizados realmente pelos profissionais em seu espaço de trabalho cotidiano para desempenhar todas as suas tarefas. Damos aqui à noção de "saber" um sentido amplo, que engloba os conhecimentos, as competências, as habilidades (ou aptidões) e as atitudes, isto é, aquilo que muitas vezes chamamos de saber, saber-fazer e saber-ser (TARDIF, 2002, p. 255).

De acordo com a definição de Tardif, quais seriam esses saberes utilizados pelo professor? De onde eles vêm? Para responder esses questionamentos, iniciaremos com a reflexão de quem é o professor. De acordo com Tardif e Raymond (2000, p. 235), o professor é:

> [...] uma pessoa comprometida em e por sua própria história – pessoal, familiar, escolar, social – que lhe proporciona um lastro de certezas a partir das quais ele compreende e interpreta as novas situações que o afetam e constrói, por meio de suas próprias ações, a continuação de sua história.

Segundo Tardif e Raymond, o saber profissional do professor é proveniente de vários saberes que são adquiridos ao longo de sua vida. Esses autores elaboraram um quadro no qual cinco saberes dos professores estão caracterizados quanto à fonte e ao modo de integração do Trabalho docente.

Quadro 1 – Os saberes dos professores.

Saberes dos professores	Fontes sociais de aquisição	Modos de integração no trabalho docente
Saberes pessoais dos professores.	Família, ambiente de vida, a educação no sentido lato etc.	Pela história de vida e pela socialização primária.
Saberes provenientes da formação escolar anterior.	A escola primária e secundária, os estudos pós-secundários não especializados etc.	Pela formação e pela socialização pré-profissionais.
Saberes provenientes da formação profissional para o magistério.	Os estabelecimentos de formação de professores, os estágios, os cursos de reciclagem etc.	Pela formação e pela socialização profissionais nas instituições de formação de professores.
Saberes provenientes dos programas e livros didáticos usados no trabalho.	Na utilização de "ferramentas" dos professores: programas, livros didáticos, cadernos de exercícios, fichas etc.	Pela utilização das "ferramentas" de trabalho, sua adaptação às tarefas.
Saberes provenientes de sua própria experiência na profissão, na sala de aula e na escola.	A prática do ofício na escola e na sala de aula, a experiência dos pares etc.	Pela prática do trabalho e pela socialização profissional

Fonte: Tardif e Raymond (2000, p. 215).

Tendo em vista esses saberes, existem ainda alguns conhecimentos que compõem a prática do professor, ou atividade docente, compreendida por Araman (2011, p. 44) como:

> [...] uma ação que comporta e mobiliza diversos conhecimentos, que são reconstruídos no exercício da profissão, mas que precisam ser analisados e validados para que possam contribuir com a profissionalização do trabalho do professor.

De acordo com Tardif (2002, p. 259), "a epistemologia da prática profissional sustenta que é preciso estudar o conjunto de saberes mobilizados e utilizados pelos professores em todas as suas tarefas". E quais seriam esses saberes, ou conhecimentos? Baseado nos estudos Shulman (1986), Araman (2011, p. 35-36) descreve os conhecimentos que um professor mobiliza durante seu exercício profissional, sendo eles:

> a) Conhecimento do conteúdo: são os conhecimentos relativos ao conteúdo da disciplina que o professor ministra, suas compreensões dos fatos, conceitos e procedimentos de uma área do conhecimento;
>
> b) Conhecimento curricular: engloba o entendimento que o professor tem do programa, dos materiais que mobiliza para ensinar.
>
> c) Conhecimento pedagógico geral: é o conhecimento dos princípios e estratégias que o professor tem para manejar e organizar a classe;
>
> d) Conhecimento pedagógico do conteúdo: é o conhecimento resultante entre conteúdo e pedagogia, ou seja, é o modo de ensinar o conteúdo e de tornar a disciplina compreensível para os alunos;
>
> e) Conhecimento das características cognitivas dos alunos: é o conhecimento que o professor tem de como seu aluno aprende, de como se desenvolve cognitivamente, cuja finalidade é compreender esses processos cognitivos e proporcionar uma melhor intervenção pedagógica;
>
> f) Conhecimento do contexto educacional: inclui as situações reais de trabalho, a composição do grupo de alunos em sala de aula, a comunidade escolar na qual está inserido, suas características, particularidades, entre outros;
>
> g) Conhecimento dos fins educacionais: são os valores, os propósitos educacionais, bem como seus fundamentos históricos e filosóficos.

Diante desses conhecimentos e dos saberes anteriormente citados, pretendemos evidenciá-los nas análises dos questionários aplicados por esta pesquisadora, que se encontram no Capítulo 5 deste trabalho.

Discutiremos, a seguir, a respeito do tema matematização.

Capítulo 2

A MATEMATIZAÇÃO

2.1. EPISTEMOLOGIA DA CIÊNCIA E A MATEMATIZAÇÃO

A epistemologia é um ramo da filosofia, também conhecida como a teoria do conhecimento, que visa promover uma reflexão geral em torno da natureza, etapas e limites do conhecimento humano, ou seja, procura investigar como se dá a construção do conhecimento.

> A epistemologia fornece o instrumental necessário para centrar a Ciência e a própria Filosofia como objetos de estudo, garantindo indagações pertinentes aos seus princípios básicos ou fundamentos, estrutura epistemológicas internas e externas, condições de validade, etc., ao mesmo tempo em que nos propicia a crítica e a recorrência desses elementos articulados à realidade sócio-histórica do objeto estudado, suas relações e inter-relações. É no espaço epistemológico que ficam claras, não somente as diretrizes que orientarão o desvelamento do objeto de estudo, mas também o alinhavar do como e do por que fazê-lo, bem como buscando uma compreensão científica mais abrangente das influências que este sofre e exerce, situando-o, desta maneira, numa dada perspectiva paradigmática, se necessário (LIMA, 2010, p. 110).

Segundo uma visão epistemológica, é possível promover reflexões e compreender o que se produz, como se produz, por que e para que se produz (LIMA, 2010), tanto no que diz respeito ao conhecimento quanto à própria Ciência.

Burtt (1983, p. 10), ao discutir a transição do pensamento medieval para o pensamento moderno, ressalta que:

> O lugar central da epistemologia na filosofia moderna não é acidental; é o corolário absolutamente natural de algo ainda mais abrangente e significativo, uma concepção do próprio homem e, especialmente, de sua relação com o mundo que o envolve.

Em busca do conhecimento e de compreender a natureza, filósofos da Ciência começaram a investigar meios de ajustar suas teorias aos fenômenos físicos. Para tanto, recorreram aos conhecimentos matemáticos e iniciaram um processo chamado de *matematização da natureza*. A esse respeito, Vargas (1996, p. 250) comenta:

> Com Pitágoras e seus seguidores surgiu a fecunda ideia de que a arché da natureza, ou seja, o princípio do qual brotam todas as coisas e a ele revertem, é o número. Isto é, o que é permanente, unitário, verdadeiro e, portanto, inteligível sob as aparências enganosas dos fenômenos, são suas proporções harmoniosas, expressas em números. Em outras palavras, a realidade vista pela teoria (*theoren*, em grego, significa ver) são as harmonias que governam o mundo, desde o movimento dos planetas até o som das cordas de lira.

Desde então, estudiosos começaram a desvendar os segredos da natureza por meio da matematização. E esta foi utilizada tanto para prever fenômenos quanto para compreender o movimento dos astros, ou ainda para privilegiar as navegações.

> No que concerne ao problema da natureza essencial da realidade, deve ser bastante óbvio, após os feitos da física moderna, que o mundo ao nosso redor, entre outras coisas, é um mundo de massas que se movem de acordo com leis enunciáveis de forma matemática no espaço e no tempo (BURTT, 1983, p. 240).

Diante dos expostos, concluímos que falar a respeito da matematização é falar acerca da epistemologia, sendo que a matematização não é uma ferramenta, mas sim um processo na construção de um conhecimento.

A seguir, apresentaremos uma visão geral a respeito do tema matematização.

2.2. MATEMATIZAÇÃO: UMA VISÃO GERAL

Durante a revisão bibliográfica, identificamos que não há muitos trabalhos, em português ou traduzidos, que abordem especificamente o tema “matematização”. Dentre os artigos e livros que encontramos, destacamos as definições de matematização de alguns autores.

Hans Freudenthal (1905-1990), idealizador da “matemática realística”, define matematização como sendo a “organização da realidade com significado matemático” (1973 *apud* LUCCAS; BATISTA, 2011 p. 455).

Já Treffers e Goffree (1985, p. 100) conceituam-na como “uma atividade de organização e estruturação por meio da qual se adquire conhecimentos e habilidades para descobrir regularidades, conexões, e estruturas ainda desconhecidas”.

Para Luccas e Batista (2011, p. 456), matematização consiste na “atividade matemática que possibilita a organização e a estruturação dos fenômenos naturais pertencentes à realidade complexa, por meio de uma identificação de regularidades, padrões, relações e, posteriormente, estruturas matemáticas”.

Segundo a pesquisadora francesa Roux (2001, p. 3, tradução nossa), "[...], a 'matematização' refere-se à aplicação de conceitos, procedimentos e métodos desenvolvidos em matemática para os objetos de outras disciplinas ou, pelo menos, de outros campos do conhecimento".

Pietrocola (2002, p. 93), ao discutir o papel da Matemática na Física, diz que a matematização "se configura como uma 'tradução matemática', onde o cientista seria o tradutor pela sua capacidade de transitar entre os dois 'idiomas': da natureza e da Matemática". Pietrocola e Silva (2003, p. 3) referem-se à geometria como sendo a linguagem preferencial do mundo, ao ressaltarem que:

> [...] a escolha da Matemática enquanto veículo estruturador da ciência reside, entre outras coisas, nas suas características de precisão, universalidade e principalmente lógica dedutiva (possibilidade de previsibilidade). Bachelard já afirmava que a força da Matemática reside no fato dela ser "um pensamento seguro de sua linguagem".

Diante de todas essas definições, concluímos que a matemática tem um papel estruturante e organizador, que possibilita identificar regularidades a fim de prever fenômenos, e que a matematização é um processo de tradução entre linguagens, adaptação e transformação para que haja um permeamento entre diferentes domínios do conhecimento.

2.3. MATEMATIZAÇÃO DA FÍSICA

Há muito se discute o uso da Matemática nas Ciências Físicas. O filósofo italiano Jacopo Mazzoni (1548-1598), autor de uma obra a respeito das relações entre Platão e Aristóteles, escreveu a respeito dessa discussão:

> Não há [...] outra questão, isto é, diferença que tenha dado lugar a tantas especulações muito nobres e muito belas [...] como a questão: se o uso das matemáticas na ciência física, enquanto instrumento de prova e termo médio da demonstração, é oportuno ou inoportuno; isto é, se ele nos traz alguma verdade, ou, pelo contrário, é prejudicial e perigoso. Com efeito, Platão acreditava que as matemáticas eram muito particularmente acomodadas às especulações físicas. E é por isso que ele muitas vezes recorreu a elas para explicar os mistérios físicos. Mas Aristóteles parece ter tido um sentimento inteiramente oposto, e atribuía os erros de Platão ao amor deste pelas matemáticas (MAZZONI *apud* KOYRÉ, 1986, p. 346-347).

Segundo Koyré (1982, p. 54), "Galileu talvez seja o primeiro espírito a acreditar que as formas matemáticas eram efetivamente realizadas no mundo". Galileu utilizava a geometria para demonstrar fenômenos físicos. Para mostrar quantitativamente o Movimento Uniformemente Acelerado, Galileu agiu da seguinte maneira:

> Escolhe a precisão como princípio, afirma que o real é geométrico por essência e, portanto, submetido à determinação e à medida

> rigorosas [...]; descobre e formula (matematicamente) leis que permitem deduzir e calcular a posição e a velocidade de um corpo em cada ponto de sua trajetória e em cada instante de seu movimento (KOYRÉ, 1982, p. 276).

Outro cientista que utilizou a Matemática como aliada em seus estudos foi Isaac Newton (1642-1727) que, com o intuito de prever fenômenos físicos, recorreu à matematização.

> Mas o nosso objetivo é apenas captar a quantidade e as propriedades desta força a partir dos fenômenos e aplicar o que descobrirmos a alguns casos simples, como princípios mediante os quais, de uma maneira matemática, poderemos estimar os efeitos em outros casos complicados. (NEWTON, 1687 *apud* GAVE 2004b, p. 21).

Mas, em que momento a Física precisa da Matemática? Qual o processo de formação do conhecimento físico em que a Matemática se torna imprescindível?

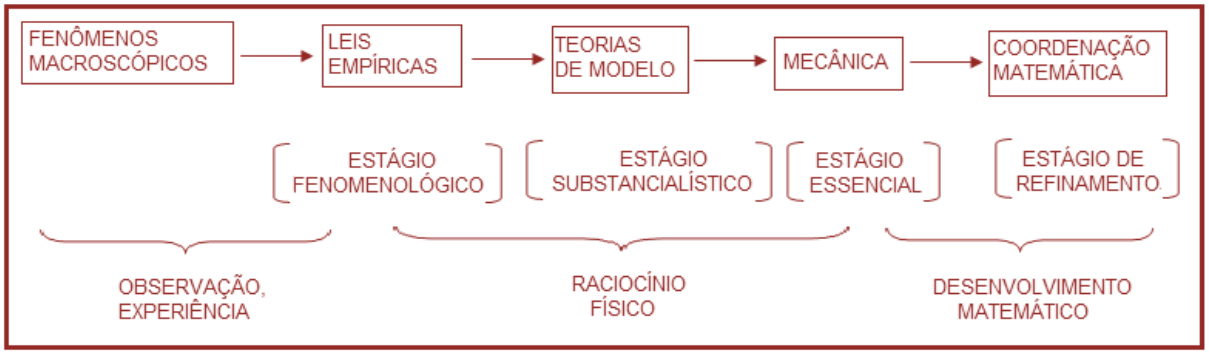
Taketani (1942 *apud* OSADA, 1972, p. 40-42), elencou quatro estágios para a formação de um conceito físico:

> a) *Estágio fenomenológico:* - Enquanto são investigadas as várias propriedades gerais dos fenômenos de um determinado ramo, as expressões compactas dessas propriedades vão sendo abstraídas empiricamente, isto é, o estágio em que aparecem as leis empíricas surge em primeiro lugar.
>
> b) *Estágio substancialístico:* - Quando aparecem as leis empíricas, como estágio seguinte, tenta-se através de "modelos" mais concretos, explicar mais profundamente essas leis. [...] Por seu intermédio, uma das leis empíricas, ou, quando houver algumas da mesma espécie, serão conjuntamente explicadas. Mas não podemos dizer que essa teoria de modelo seja suficientemente geral e completa, pois vale para um determinado fenômeno, mas não atinge outros [...].
>
> c) *Estágio essencial:* - Quando ficam acumuladas algumas teorias substancialísticas que surgiram de modo mencionado acima, começa a surgir uma expressão matemática mais abstrata a fim de explicá-las globalmente. [...] A característica dessa expressão matemática abstrata é válida não só para um determinado fenômeno em especial, mas também para uma região bastante ampla.
>
> d) *Estágio de refinamento:* - Esse estágio costuma-se seguir ao essencial, logo após o complemento das pesquisas desse estágio.

> Aqui a mecânica[4] obtida no estágio essencial é reorganizada de modo mais refinado matematicamente. Quando chegamos a esse estágio, o significado mais essencial da mecânica torna-se claro e, como o formalismo matemático já está ordenado, a sua aplicação torna-se também mais fácil. É possível que se torne o ponto de partida para uma nova mecânica futura.

Essas quatro etapas foram sistematizadas na figura a seguir.

Figura 1 – Evolução da Física.



Fonte: Osada (1972).

Como explicitado acima, os conceitos matemáticos surgem como importantes aliados para auxiliar o desenvolvimento do conhecimento físico e exercem um papel estruturante no desenvolvimento de teorias físicas, assim como afirma Robilotta (1988, p. 13): "os conhecimentos da Física englobam fenômenos e teorias, sendo estas últimas baseadas em conceitos e leis, e estruturadas por meio da matemática".

Batista (2004, p. 468), ao discutir os modelos na investigação Física, ressalta que "a matematização da Física exerce um papel inquestionável para o alcance e a estabilidade de suas teorias, contribuindo para a sua cognoscibilidade, intersubjetividade e universalização". E acrescenta:

> O formalismo matemático, desse modo, é capaz de dar não somente um esquema de cálculo para estudos quantitativos de um fenômeno de natureza qualitativa desconhecida, como também de descrever essa própria natureza qualitativa para a qual nenhum método consistente de solução quantitativa da equação apropriada ainda existe (BATISTA, 2004, p. 469).

Segundo Osada (1972), ao elaborar uma nova teoria, deve-se usar o raciocínio físico baseado nos fenômenos, mas quando for apresentar a conclusão, deve-se expressar pelos recursos da matemática, para evitar ambiguidades.

[4] O autor refere-se à "mecânica" como sendo as leis de movimento ou de mudança de um fenômeno.

Assim, por meio da matematização, sabendo manejar bem os conceitos e propriedades matemáticas, é possível deduzir e formular equações que melhor se aproximam da realidade.

> Em todo caso, as vantagens da matematização não se limitam à máxima precisão. Ela aumenta a potência dedutiva da teoria (ou seja, a capacidade de deduzir novos enunciados); permite constatações empíricas mais finas; facilita a identificação de defeitos e inconsistências e a comparação da teoria com outras rivais (PIETROCOLA; SILVA, 2003, p. 10).

Por fim, Pietrocola e Silva salientam que a matemática não tem importância apenas por seu aspecto numérico, mas também por sua estrutura lógico-formal.

> Por outro lado, falar de matematização não significa unicamente quantificar, porque na formulação da teoria eletromagnética (e de várias outras) utilizam-se também ferramentas matemáticas como cálculo vetorial, cálculo diferencial integral e outros, dependendo da teoria, que estão intimamente relacionadas com os aspectos conceituais da própria teoria (PIETROCOLA; SILVA, 2003, p. 10).

2.4. MATEMATIZAÇÃO E MODELAGEM MATEMÁTICA

Ao discutir a respeito do assunto matematização com colegas do mestrado e outros professores, percebemos que muitas vezes tratava-se da matematização como sinônimo de modelagem matemática. Por essa razão, decidimos escrever este tópico para discutirmos a relação entre a matematização e a modelagem matemática.

Para tanto, iniciaremos com a caracterização desse conceito de acordo com diversos autores. Biembengut (2009, p. 7), define "o termo 'modelagem matemática' como processo para descrever, formular, modelar e resolver uma situação-problema de alguma área do conhecimento" e destaca que tal definição encontra-se, já no início do século XX, na literatura de Engenharia e Ciências Econômicas, por exemplo.

Segundo Bassanezi (2004, p.16), "a modelagem matemática consiste na arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los interpretando suas soluções na linguagem do mundo real". Ainda segundo esse autor, a Matemática é "o instrumento indispensável para a formulação das teorias fenomenológicas fundamentais, devido, principalmente, ao seu poder de síntese e de generalização" (BASSANEZI, 2004, p. 19).

Chaves (2010, p. 2) afirma que a modelagem matemática pode ser entendida como:

> Um processo que consiste na tradução/organização de situações/problemas, provenientes do cotidiano ou de outras áreas do conhecimento, segundo a linguagem simbólica da Matemática, fazendo aparecer um conjunto de símbolos ou relações matemáticas – Modelo Matemático – que procura representar ou organizar a situação/problema proposta, com vistas a compreendê-la ou solucioná-la.

No contexto escolar, Barbosa (2004, p. 75) entende que a modelagem matemática proporciona "um ambiente de aprendizagem no qual os alunos são convidados a problematizar e investigar, por meio da matemática, situações com referência na realidade".

Almeida e Brito (2005, p. 487), apreendem a modelagem matemática como "uma abordagem, por meio da Matemática, de um problema não essencialmente matemático" e ressaltam que ela "pode criar condições para discutir e questionar este poder de formatação da matemática, tornando visível a importância que a matemática tem para a sociedade" (ALMEIDA; BRITO, 2005, p. 488).

Diante de tais definições, explicitaremos a relação entre a matematização e a modelagem matemática. Após muitas leituras, concluímos que a matematização consiste em uma das etapas da modelagem matemática e percebemos que nem todos os autores utilizam o termo matematização, mas sinônimos como "tradução em linguagem matemática".

Segundo Biembengut e Hein (2000), a modelagem matemática consiste em um processo composto por três etapas, sendo essas: interação, matematização e modelo.

Etapa 1: Interação

Num primeiro momento é importante que se reconheça a situação-problema, bem como se levante o referencial teórico relativo ao assunto que será modelado. Esta etapa não termina com o início da próxima, visto que a situação-problema torna-se mais clara à medida que se interage com os dados.

Etapa 2: Matematização

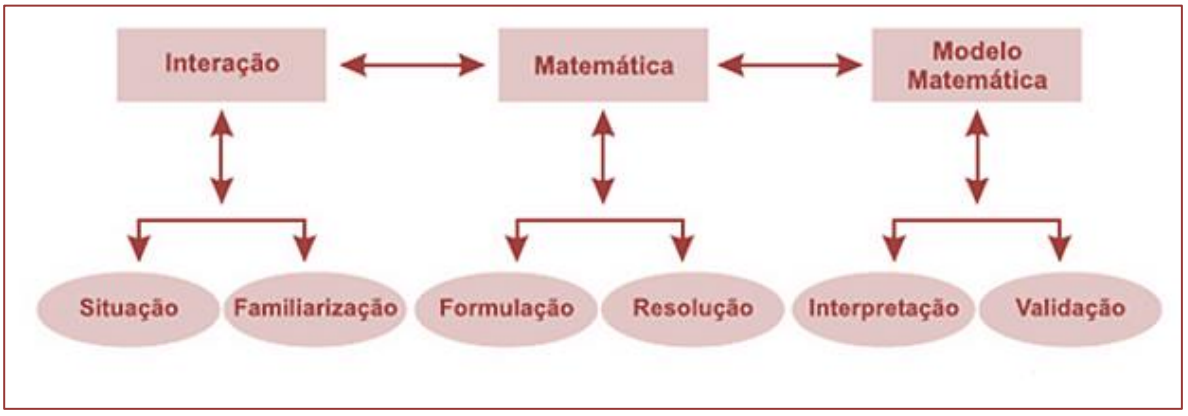
É uma etapa desafiante e complexa, pois é nela que se expressa o problema em linguagem matemática. Nesta etapa identificamos os fatos envolvidos, classificando as informações como relevantes ou não. Levantamos as hipóteses, selecionamos variáveis e constantes envolvidas e descrevemos as relações em termos matemáticos. Após a formulação do problema, passamos à resolução ou à análise com as ferramentas matemáticas disponíveis. Esta etapa exige um conhecimento considerável dos objetos matemáticos e muitas vezes o uso do computador pode-se tornar imprescindível.

Etapa 3: Modelo Matemático

Para concluir e validar o modelo é necessário avaliar e definir o quanto ele se aproxima da situação-problema representada, bem como o grau de confiabilidade de sua utilização (BIEMBENGUT; HEIN, 2000, p. 13-15).

A figura abaixo sintetiza o processo de *modelagem matemática*, proposta por Biembengut e Hein (2000).

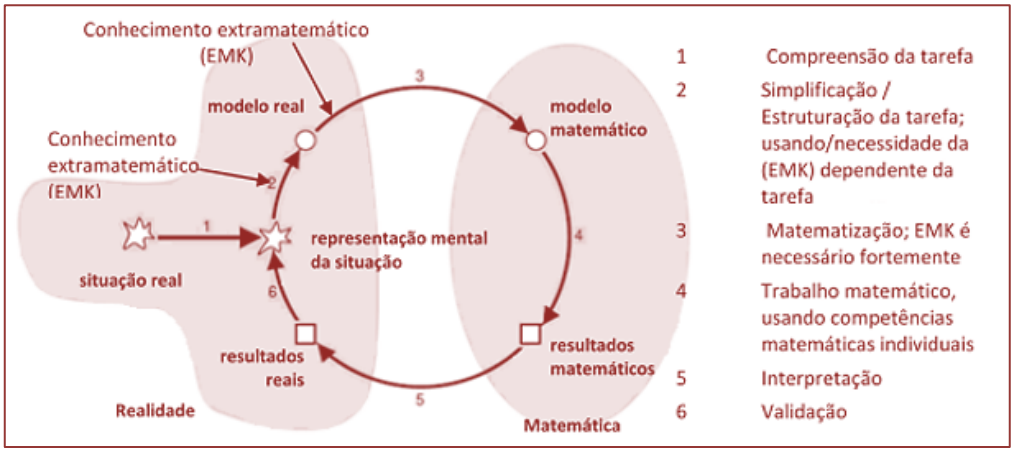
Figura 2 – Processo de modelagem matemática.



Fonte: Biembengut e Hein (2000, p. 15).

Já Ferri (2006) elaborou o chamado *Ciclo de Modelagem sob uma perspectiva cognitiva* (Figura 3), em que ilustra o caminho considerado ideal no desenvolvimento de uma atividade de modelagem, consistindo em um conjunto de etapas e transições, no qual a terceira etapa consiste no processo de matematização.

Figura 3 – Ciclo de modelagem sob uma perspectiva cognitiva.



Fonte: Ferri (2006 *apud* SILVA, 2013, p. 29).

Quanto ao processo de modelagem e a matematização, a autora entende que "A transição a partir do modelo real para modelo matemático é caracterizado como se segue: o progresso individual em matematizar [...]" (FERRI, 2006, p. 92, tradução nossa).

Bassanezi (2004) propõe um esquema simplificado chamado de atividades intelectuais da modelagem matemática, sendo composto por cinco etapas: experimentação, abstração, resolução, validação e modificação. Nesse esquema, o processo de matematização corresponde à terceira etapa, resolução, em que "acontece a troca da linguagem natural das hipóteses pela linguagem matemática coerente, em outras palavras, quando é obtido o modelo matemático" (MACHADO JÚNIOR, 2005, p. 30).

Etapas semelhantes, no processo de modelagem matemática, são propostas por Chaves (2010, p.3), quais sejam: "interação, levantamento de hipóteses/conjecturas,

seleção de variáveis, ‘tradução’ da situação-problema para a linguagem matemática e validação – testagem do Modelo ou da solução obtida”.

Diante das definições aqui expostas, podemos concluir que a matematização é considerada como um dos processos desenvolvidos a partir do ponto de vista da Modelagem Matemática, área em franco desenvolvimento de pesquisa. É relevante relembrar, como Batista (2004) comenta, que entendido como processo epistemológico na Ciência, a matematização fica bem caracterizada como uma etapa imbricada em métodos hipotético-dedutivos, em que ela atua como forma de expressão, linguagem e raciocínio interpretativos de fenômenos naturais.

Capítulo 3

UM EPISÓDIO HISTÓRICO DE MATEMATIZAÇÃO NA FÍSICA

3.1. O PAPEL DA HISTÓRIA NESTE ESTUDO

Como já mencionado anteriormente, defendemos a inserção da História da Ciência no ensino de Ciências e Matemática. A seguir, descreveremos o papel da História nesta pesquisa. Para tanto, adotamos os referenciais de Batista (2004), Guerra *et al.* (1998) e Martins (2005). Entendemos que

> A História da Ciência, em um primeiro nível, é descritiva, porém deve utilizar a terminologia adequada que normalmente ela retira da Filosofia da Ciência. Entretanto, não deve permanecer somente na descrição, mas deve ir além, oferecendo explicações e discutindo cada contribuição dentro de seu contexto científico. Além disso, consideramos também que a História da Ciência apresenta uma metodologia própria, que não é nem a metodologia da História e nem a metodologia da Ciência, uma vez que é um tipo de estudo de natureza diferente dos dois anteriores (MARTINS, 2005, p. 306).

Compreendemos que a discussão do processo histórico, e não somente a descrição, promove o entendimento da construção do conhecimento científico, conduzindo o historiador da Ciência à melhor compreensão da natureza da Ciência.

Nessa discussão, há que se ter uma visão geral do contexto social, político e cultural do momento em que o problema histórico está inserido. Pois, entendendo esses contextos, podemos compreender melhor os motivos e problemas que impulsionaram os cientistas a estudar determinadas situações. Segundo Guerra *et al.* (1998, p. 37),

> [...] A compreensão do ambiente cultural é fundamental para a compreensão das respostas dadas pelos homens ao longo da História aos problemas com que se defrontaram. A ciência, antes de ser um conhecimento desinteressado, é uma construção de homens que estão imersos numa determinada realidade histórica e que têm afetividade, subjetividade e especulam filosoficamente. É importante perceber que além da ciência influenciar outros ramos do conhecimento, também recebe influências.

A História da Ciência pode definir quais foram os conceitos estruturantes presentes no momento de transformação de uma Ciência e indicar quais foram as relações sociais, econômicas e políticas presentes, assim como as resistências à mudança. De acordo com essa visão de História da Ciência, apresentaremos uma síntese histórica da matematização do pêndulo simples. Para tanto, descreveremos o desenvolvimento científico e a discussão do processo e dos benefícios desse estudo na época em questão e nos dias atuais.

Nesse sentido, Batista (2004, p. 473-474) sustenta que:

> o desenvolvimento didático – formal e empírico – do conteúdo físico (e também de outras ciências) deve levar em consideração a história desse conteúdo e os problemas de interesse epistemológico (problemas geradores), pois o desenvolvimento de um trabalho que envolva tais aspectos pode propiciar uma compreensão maior do processo de criação de conhecimentos físicos, evidenciando o papel da epistemologia histórica da Física como agente atuante na inteligibilidade das teorias.

Diante dessas noções supracitadas, acreditamos que episódios selecionados da História da Ciência podem servir como modelos de Natureza da Ciência, configurando-se recursos que "dão sentido às noções epistemológicas abstratas e promovem sua transferência para outras situações" (ADURIZ-BRAVO; IZQUIERDO-AYMERICH, 2009, p. 1179).

3.2. SÍNTESE HISTÓRICA DA MATEMATIZAÇÃO DO PÊNDULO SIMPLES

Dentre inúmeros e notórios episódios históricos, de diversos cientistas, escolhemos um trabalho de Galileu, por ser ele um dos primeiros a fazer uso da Matemática nas Ciências Naturais. Geymonat (1997, p. 8), afirma que

> Também em Galileu a paixão pela Matemática não será jamais separada do interesse pela observação, a medida e o desenho: a matemática já lhe parecia, desde o início, um instrumento poderosíssimo para conhecer a natureza, para captar seus segredos mais íntimos, para traduzir os processos naturais em discursos precisos, coerentes, rigorosamente verificáveis.

Com essas palavras, Geymonat definiu o processo de matematização utilizado por Galileu em sua obra.

Tendo em vista esse olhar matemático de Galileu, optamos em descrever o processo de matematização do pêndulo simples, por ser seu primeiro estudo de aplicação da matematização em fenômenos físicos. Segundo Geymonat (1997), Galileu iniciou seus próprios estudos matemáticos ao investigar o isocronismo das oscilações pendulares, em que o período de oscilação de um pêndulo é independente da sua amplitude (para pequenas oscilações apenas). É sabido que tal isocronismo já havia sido estudado pelo

astrônomo árabe Ibn Junis[5], mas estudiosos garantem que esse estudo era desconhecido na Europa e por Galileu.

Segundo Burrowes e Farina (2005), nos séculos XVII e XVIII, a medição precisa do tempo era extremamente importante para a navegação. Nessa época, a medição de latitudes era feita com boa precisão, diferentemente da medição de longitude. Tal necessidade despertou o interesse de cientistas, como Galileu Galilei, Jean Dominique Cassini, Christiaan Huygens, Isaac Newton, entre outros. Governos de países como a Espanha e a Holanda ofereciam grandes prêmios para aqueles que resolvessem satisfatoriamente o problema da medição de longitudes.

De acordo com alguns biógrafos de Galileu, foi em 1583 que ele observou as oscilações de uma lâmpada no Domo de Pisa, e que o período de oscilações do candelabro, colocado em movimento pelo vento, não dependia se tais movimentos fossem rápidos ou lentos. Para tanto, ele comparou os períodos dessas oscilações contando sua própria pulsação.

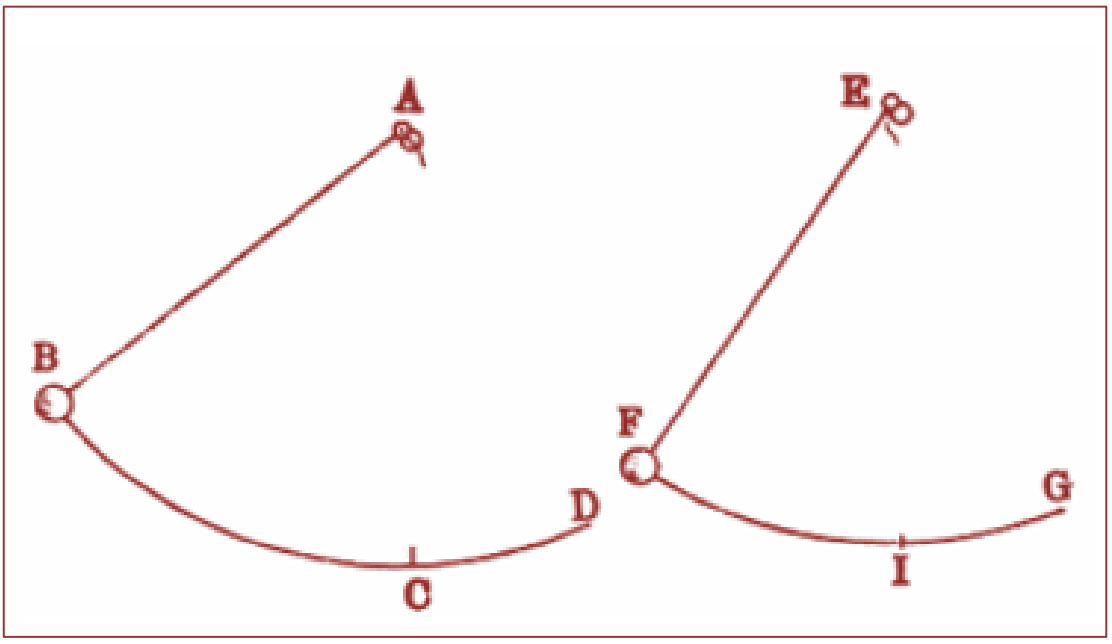
Drake (1981, p. 60) ressalta que o "que primeiro impressionou Galileu no pêndulo não foi apenas que oscilava para trás e para a frente em tempos iguais, mas que o tempo de oscilação continuava o mesmo quer o arco pelo qual oscilava fosse grande ou pequeno".

No ano de 1602, Galileu escreveu a Guidobaldo del Monte a respeito de seus estudos "e acrescentou a conjectura de que de qualquer ponto num círculo vertical um corpo chegaria ao ponto mais baixo no mesmo tempo, o que é apenas aproximadamente correto" (DRAKE, 1981, p. 59). Ainda segundo Drake, Guidobaldo tentou experiências usando o arco de uma peneira de cereais e constatou que o estudo de Galileu não estava correto, ao passo que Galileu respondeu que o desnivelamento e a fricção podiam interferir e que podiam ser eliminadas, substituindo um pêndulo longo.

Na carta de 29 de novembro de 1602 a Guidobaldo[6], Galileu insiste em tentar convencê-lo de que o movimento pendular é feito em tempos iguais, no mesmo quarto do círculo. Para tanto, ele faz uma demonstração com dois fios finos e longos $\overline{AB}$ e $\overline{EF}$, fixos por um prego em A e em E, e duas bolas de chumbo iguais presas em B e F. A partir das linhas perpendiculares a $\overline{AC}$ e $\overline{EI}$, elevou as bolas, sendo a elevação de B maior que de F e, então, as bolas foram soltas e descreveram, respectivamente, o arco maior BCD e o menor FIG.

[5] Abu'l-Hasan Ali Ibn Abd al-Rahman Ibn Yunus (950-1009) foi um matemático islâmico conhecido por suas observações astronômicas e por suas tábuas trigonométricas e astronômicas.
[6] Anexo A.

Figura 4 – Demonstração de Galileu.



Fonte: Galilei (1900, p. 98).

Galileu ressalta que o arco BCD não é descrito em maior tempo do que o arco FIG. E afirma:

> O móvel B percorre o grande arco BCD, e retorna pelo mesmo DCB, e depois retorna para D, repetidas vezes; e o outro vai também a partir de F para G, e de lá volta em F, e da mesma forma fará repetidamente. [...] o móvel F não fará sua pequena oscilação mais frequente do que o enorme móvel B a sua, mas sempre andarão juntos (GALILEI, 1900, p. 98, tradução nossa).

No decorrer dessa carta, Galileu faz ainda algumas comparações para convencer Guidobaldo e finaliza dizendo que ainda precisa demonstrar algumas situações.

Nessa altura, seu trabalho com pêndulos sugeriu ao professor, médico e fisiologista italiano Santorio (1561-1636) a criação do *pulsilogium,* usado em diagnósticos médicos para medir a pulsação de seus pacientes. Em muitos casos, o *pulsilogium* é atribuído erroneamente a Galileu.

Figura 4 – Réplica do *pulsilogium*.

Fonte: Museum Boerhaave (2013).

O pêndulo teve um papel importante na obra de Galileu, o que levou Drake (1981, p. 59-60) a dizer algumas palavras a respeito do assunto.

> [...] Parece curioso que a sua propriedade de balançar em tempos iguais não tivesse sido aplicada muito antes da cronometragem e usada em investigações científicas. Algumas décadas antes, dizia-se que um astrônomo árabe da Idade Média tinha representado o pêndulo no seu livro, mas descobriu-se que estava errado. Os relógios, na época de Galileu, eram regulados por uma vara horizontal impelida para a frente e para trás, através de um pequeno ângulo, por um peso ligado a um fio, tal como os pêndulos, mais tarde, eram mantidos a balançar. A velocidade desses relógios podia ser ajustada movendo pequenos pesos suspensos da vara, mas nunca eram de confiança. Galileu inventou um cronômetro astronômico usando um pêndulo, mas o verdadeiro relógio de pêndulo só foi inventado depois da sua morte por Christian Huygens.

Huygens refinou a teoria pendular de Galileu, ele estudou problemas relacionados à construção de relógios por quase 40 anos, de 1656 até 1693. Galileu havia sugerido, em 1636, acoplar um contador ao pêndulo, porém tentou fazê-lo somente em 1641, falecendo em 1642. Assim, a prioridade da patente foi concedida a Huygens. Seu primeiro livro a respeito do assunto foi o *Horologium* (1658) – que significa relógio em latim – e seu segundo e maior trabalho foi o *Horologium Oscillatorium* (1673) – o relógio pendular. Segundo Matthews (2001, p. 9), Huygens alterou dois componentes centrais da teoria de Galileu:

> as alegações de que o período variava com o comprimento e de que o círculo era a curva tautócrona (a curva na qual os corpos em queda livre sob a influência da gravidade alcançam o seu nadir[7] ao mesmo tempo, independentemente do ponto de onde eles tenham sido lançados). Ao contrário, Huygens demonstrou matematicamente que o período variava com a raiz quadrada (subduplicata, nos termos de Huygens) do comprimento e que a ciclóide era a curva tautócrona.

Descreveremos a seguir o processo de matematização utilizado por Huygens em *Horologium Oscillatorium* (1673). O livro está dividido em cinco partes, sendo as seguintes:

1. Uma descrição do relógio oscilante;

2. A queda de pesos e o seu movimento ao longo de uma cicloide;

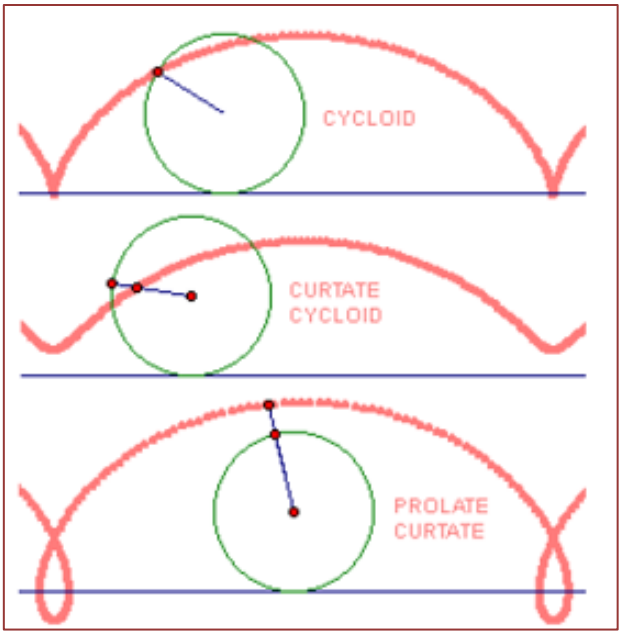
3. O tamanho e a evolução da curva;

4. O centro de oscilação ou movimento;

5. A construção de outro tipo de relógio é mostrada, em que o movimento do pêndulo está em um círculo, e Teoremas preocupados com a força centrífuga.

Primeiramente, Huygens definiu a cicloide, cuja definição cinemática é: um ponto P qualquer, localizado na periferia de um círculo que rola, sem deslizar, em uma superfície plana e rígida.

Figura 5 – Definição de uma cicloide.



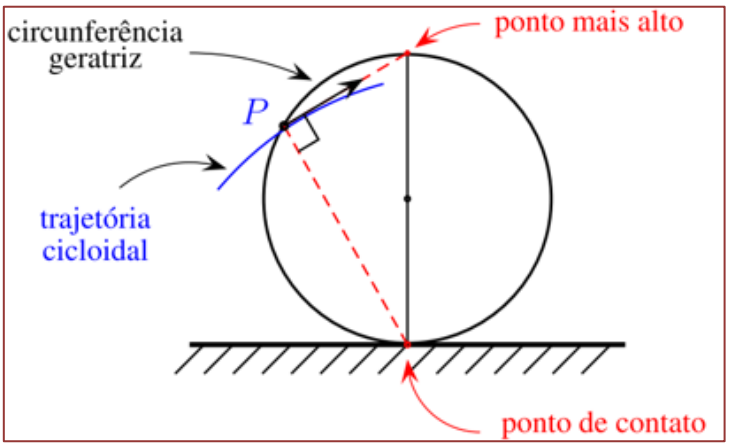
Fonte: Farina (2008).

[7] É o ponto inferior da esfera celeste, segundo a perspectiva de um observador na superfície do planeta.

Duas importantes propriedades geométricas da cicloide são:

a) a reta tangente à cicloide em P passa pelo ponto mais alto da circunferência geratriz;

Figura 6 – Propriedade da cicloide.



Fonte: Farina (2008).

b) a velocidade de um ponto qualquer do disco (estando ele na periferia ou não) é perpendicular à reta que passa por esse ponto e o ponto de contato.

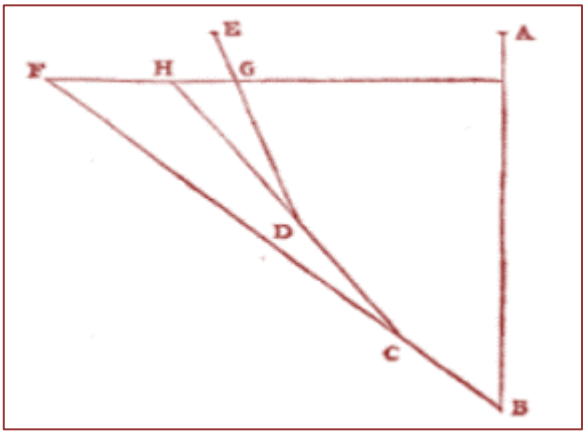
Na segunda parte, Huygens descreveu a queda de corpos em diferentes trajetórias. Apresentaremos quatro delas, relevantes à compreensão do movimento pendular.

A proposição IX foi enunciada da seguinte maneira:

> Se um corpo descendente pode reverter seu movimento, então ele vai subir para a mesma altura de que veio, avançando ao longo de todas as superfícies planas adjacentes fixado em quaisquer inclinações (HUYGENS, 1673, p. 34, tradução nossa).

Huygens demonstra essa proposição geometricamente por meio da figura a seguir.

Figura 7 – Proposição IX.



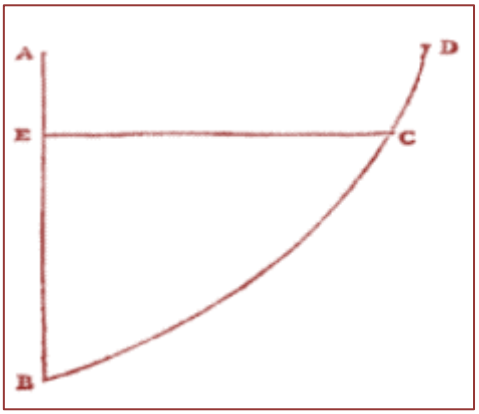
Fonte: Huygens (1673, p. 35).

Já a proposição X tem como enunciado:

> Se o corpo em movimento desce verticalmente, ou desce ao longo de uma superfície, e é considerado para realizá-lo novamente pelo impulso ao longo de alguma outra curva, terá sempre a mesma velocidade em pontos com a mesma altura quando ascendente ou descendente (HUYGENS, 1673, p. 35, tradução nossa).

Para demonstrar essa proposição geometricamente, ele utilizou a seguinte figura.

Figura 8 – Proposição X.



Fonte: Huygens (1673, p. 35).

A proposição XI foi enunciada:

> Se o corpo é dirigido a cair ao longo de uma superfície, e, em seguida, pelo o movimento inverso a subir ao longo da mesma superfície, ou ao longo de outra superfície semelhante, e igualmente ser trazido para a mesma posição, então ele vai subir e descer a mesma distância em tempos iguais (HUYGENS, 1673, p. 36, tradução nossa).

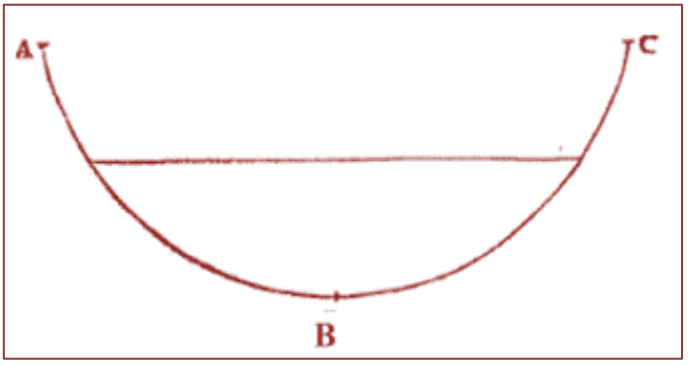
Huygens demonstrou essa proposição geometricamente[8], a partir das proposições anteriores, da seguinte forma:

> Assim como o corpo em movimento pode descer ao longo da superfície AB, e, quando chega a B, pelo movimento de retorno sobe ao longo da mesma superfície AB, ou analogamente ele pode subir ao longo da curva semelhante BC com respeito ao plano horizontal, e é acordado a partir das demonstrações anteriores, estar voltando para a mesma altura de onde ele veio. Além disso, desde sempre, os pontos com uma mesma altura, tem a mesma velocidade de subida ou descida (Prop X), é evidente que a mesma linha tem suas partes

[8] Optamos por apresentar a demonstração dessa proposição por entendermos ser relevante ao leitor.

> individuais atravessada duas vezes com a mesma velocidade: a partir do qual os tempos de cada movimento por necessidade são iguais. C.q.d. (HUYGENS, 1673, p. 36, tradução nossa).

Figura 9 – Proposição XI.

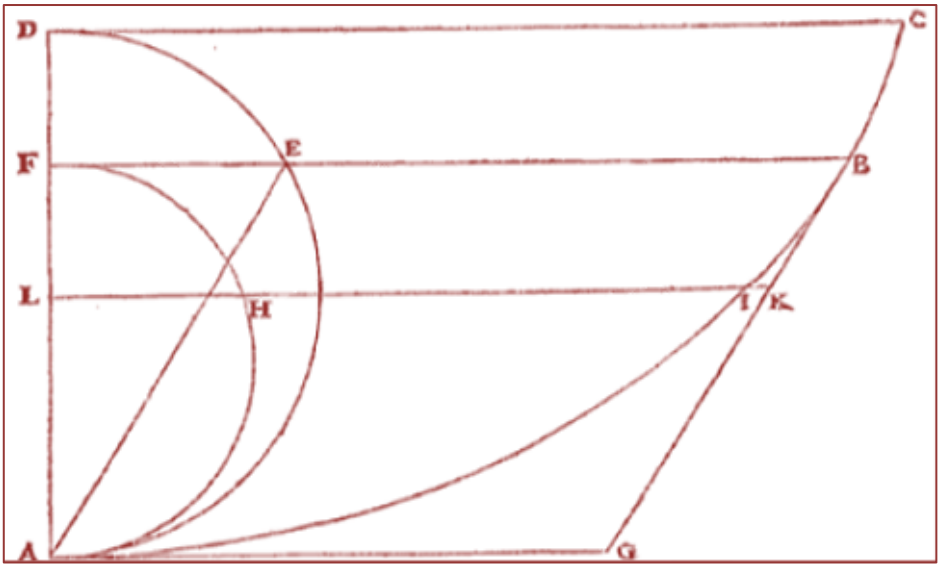


Fonte: Huygens (1673, p. 35).

Por fim, a proposição XXVI conclui que

> Se uma linha HI desenhada acima, corta o arco BA em I, e a circunferência FHA em H: Eu digo que o tempo para passar pelo arco BI, para o tempo de atravessar o arco IA depois BI, tem a proporção que o arco da circunferência FH deve ter para HA (HUYGENS, 1673, p. 58, tradução nossa).

Figura 10 – Proposição XXVI.



Fonte: Huygens (1673, p. 35).

Na parte 4, Huygens apresenta 13 definições a respeito do pêndulo, sendo essas:

> I. Um pêndulo pode ser considerado uma dada figura com peso, se deve ser uma linha, uma superfície, ou um sólido, assim suspenso

de modo que seja capaz de se manter para frente e para trás em movimento com uma força, devido ao seu próprio peso sobre um ponto, ou eixo, que entende-se paralelamente ao plano horizontal, [e. g. um prego conduzido em suporte perpendicular ao plano do pêndulo, encontrando-se no plano horizontal].

II. O eixo paralelo ao plano horizontal, sobre o qual o movimento do pêndulo é compreendido, é chamado eixo de oscilação.

III. Um pêndulo simples é entendido para ser composto a partir de um fio sem peso ou uma linha inflexível com um peso fixo a uma extremidade, considera-se que a força da gravidade agindo sobre o peso foi reunida para atuar em um ponto.

IV. Um pêndulo composto é entendido como consistindo de um certo número de pesos, mantendo as mesmas distâncias, tanto na separação entre si quanto com o eixo de oscilação. Por isso, qualquer figura suspensa com os pesos fornecidos pode ser chamado de um pêndulo composto, na medida em que o entendimento de que pode ser dividido em um certo número de peças.

V. Pêndulos seriam isócronos se as oscilações fossem realizadas por semelhantes arcos no mesmo tempo.

VI. O plano de oscilação deve ser entendido para ser arrastado através do centro de gravidade da figura suspensa, perpendicularmente ao eixo de oscilação.

VII. A linha do centro é puxada através do centro de gravidade da figura, perpendicular ao eixo de oscilação.

VIII. A linha perpendicular é uma linha no plano de oscilação traçada a partir do eixo de oscilação, perpendicular ao plano horizontal.

IX. O centro de oscilação, ou de circulação de uma figura, é dito ser algum ponto da linha do centro, de tal modo que a distância entre o eixo de oscilação da figura tem o mesmo comprimento que o de um pêndulo isócrono simples.

X. O eixo do peso é uma linha que passa pelo centro de gravidade da figura.

XI. A figura plana ou a linha colocada num plano é dita ser perturbada no plano, quando o eixo de oscilação está no mesmo plano que da linha ou figura.

XII. Realmente a mesma figura ou linha é dita ser perturbada lateralmente, quando o eixo de oscilação é perpendicular ao da figura ou da linha.

XIII. Quando os pesos são representados por linhas retas, entende-se que os números associados com os pesos ou linhas estão na mesma proporção que os pesos expressam entre si (HUYGENS, 1673, p. 92-93, tradução nossa).

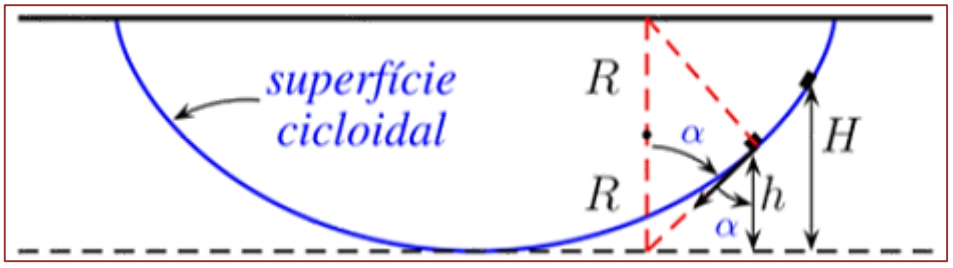
De acordo com todas as definições e proposições, Huygens, que considerou um corpo deslizando sobre uma superfície cicloidal lisa, mostrou inicialmente que tal corpo oscila de modo que seu período não depende da altura de onde é abandonado, ficando evidente que se o corpo no extremo do pêndulo descrever uma cicloide, seu período não dependerá da amplitude de oscilação.

Um exemplo de demonstração de forma atual, mas utilizando elementos geométricos semelhantes, seria:

Um corpo parte do repouso de uma altura H; em t, o corpo encontra-se em h. Como desceu H − h, temos:

$$V^2 = 2.\,g.\,(H - h) \rightarrow V = \sqrt{2.g}.\sqrt{H-h} \qquad (1)$$

Figura 11 – Superfície cicloidal.



Fonte: Farina (2008).

Da figura, temos $V_{vert} = V.\cos\alpha$. Usando a propriedade fundamental da cicloide, temos, também:

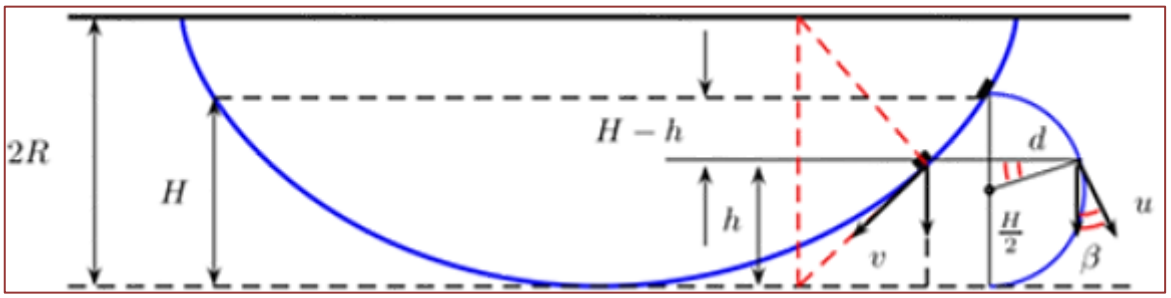
$$(2R\cos\alpha)\cos\alpha = h \rightarrow \cos\alpha = \sqrt{\frac{h}{2R}} \qquad (2)$$

Substituindo (1) e (2) na equação $V_{vert} = V.\cos\alpha$, obtemos:

$$V_{vert} = \sqrt{\frac{g}{R}}\sqrt{h\,(H-h)} \qquad (3)$$

Huygens introduz um MCU auxiliar de raio H/2 e velocidade *u* (a ser ajustada convenientemente):

Figura 12 – Demonstração do período.



Fonte: Farina (2008).

Da figura, temos:

$$u_{vert} = u.\cos\beta, \text{ onde } \cos\beta = \frac{d}{H/2} \rightarrow u_{vert} = \frac{ud}{H/2} \qquad (4)$$

Das propriedades de triângulos retângulos, podemos escrever:

$$\frac{d}{H-h} = \frac{h}{d} \rightarrow d = \sqrt{h\,(H-h)} \qquad (5)$$

Substituindo (5) em (4), obtemos

$$u_{vert} = \frac{u}{H/2}\sqrt{h(H-h)} \qquad (6)$$

Comparando com a equação para V_{vert}, a saber,

$$V_{vert} = \sqrt{\frac{g}{R}}\sqrt{h\,(H-h)} \qquad (7)$$

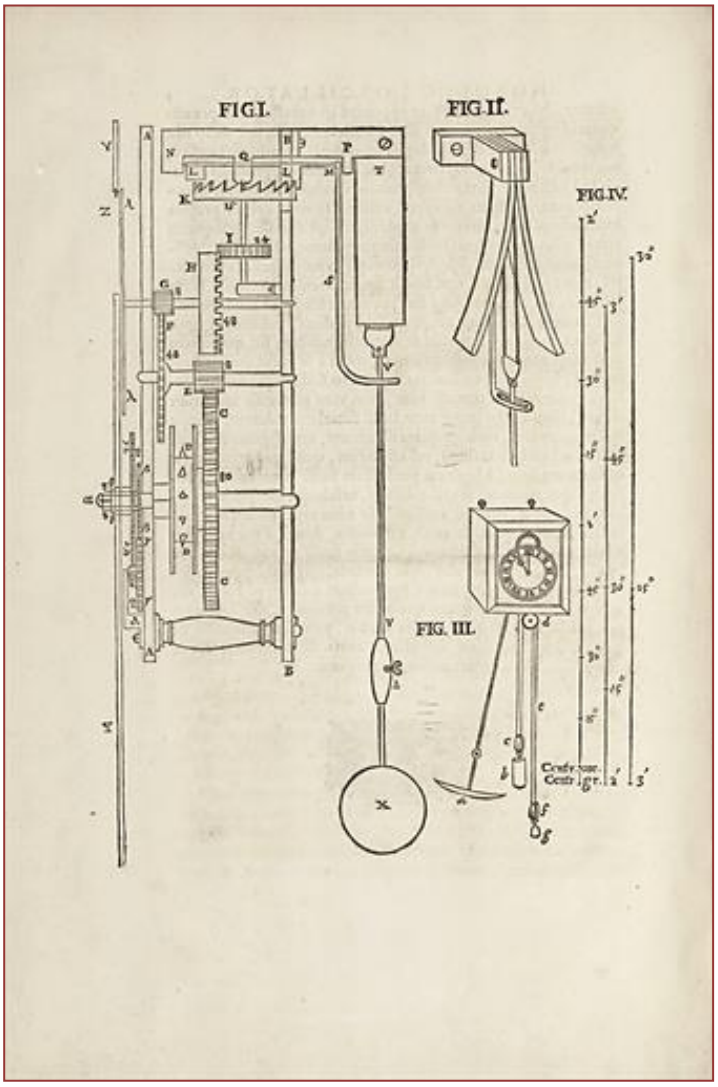
vemos que, se escolhermos

$$\frac{u}{H/2} = \sqrt{\frac{g}{R}}, \text{ ou seja, } u = \frac{H}{2}\sqrt{\frac{g}{R}}, \qquad (8)$$

as projeções verticais dos dois movimentos coincidirão. Portanto, o intervalo de tempo desde que o corpo é abandonado até atingir o ponto mais baixo da superfície cicloidal é o mesmo que no movimento auxiliar. O corpo gasta para dar meia volta:

$$\frac{1}{4}T = \frac{\pi H/2}{u} = \frac{\pi H/2}{H/2\sqrt{g/R}} \rightarrow T = 4\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$$

Figura 13 – Relógio de pêndulo.



Fonte: Huygens (1673, p. 4).

Os estudos de Huygens proporcionaram o aperfeiçoamento dos relógios de pêndulos. Em 1851, o astrônomo francês Jean Bernard Léon Foucault realizou uma experiência capaz de demonstrar a rotação da Terra por meio de um movimento pendular. Outra relevante contribuição dos estudos com pêndulo foi a determinação da aceleração da gravidade em um ponto qualquer da Terra, bastando dispor de um pêndulo simples, um cronômetro e uma régua (ou trena).

Capítulo 4

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1. INVESTIGAÇÃO QUALITATIVA

Este estudo foi realizado com uma abordagem qualitativa de cunho interpretativo. Para Bogdan e Biklen (1994), esse tipo de investigação apresenta uma natureza descritiva, na qual os pesquisadores têm um interesse maior no processo e nos seus significados do que nos resultados ou produtos. Segundo os mesmos autores, a investigação qualitativa possui cinco características:

> 1. Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural constituindo o investigador o instrumento principal.
>
> 2. A investigação qualitativa é descritiva.
>
> 3. Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos.
>
> 4. Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva.
>
> 5. O significado é de importância vital na abordagem qualitativa (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 47-50).

Durante todo o processo de elaboração deste estudo, buscamos imprimir as características acima citadas. Assim, procuramos descrever todos os passos da coleta de dados e analisamos as informações por meio de inferências dedutivas, sem procurar respostas certas ou erradas, a fim de entender, segundo os referenciais teóricos utilizados, os significados dos dados fornecidos.

Segundo Bogdan e Biklen (1994, p. 49), precisamos examinar tudo como se nada fosse trivial, tendo em vista que “tudo tem potencial para constituir uma pista que nos permita estabelecer uma compreensão mais esclarecedora do nosso objeto de estudo”.

Com essa ideia de que nada é trivial, o pesquisador tem uma árdua tarefa de investigar e analisar minuciosamente os dados. É com esse enfoque que desenvolvemos a investigação, a fim de construir novas compreensões do objeto de estudo, com base em nossas experiências e nos referenciais teóricos que nos subsidiam.

4.2. ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Aliado aos referenciais teóricos, pretendíamos conhecer o que os professores, participantes desta pesquisa, que lecionam a disciplina de Física tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior, pensam a respeito do tema matematização, e como lidam com a Matemática em sala de aula.

Para tanto, optamos por um questionário semiestruturado, baseado nos seguintes objetivos.

Quadro 2 – Objetivos do questionário.

Objetivo geral
Conhecer as noções a respeito do conceito matematização de professores de Física.
Objetivo específico
Identificar as possíveis contribuições da História da Ciência no processo de formação inicial de professores de Física.
Investigar o papel da Matemática no ensino de Física, segundo as noções desses professores.
Identificar os conteúdos matemáticos que os alunos apresentam maior dificuldade nas disciplinas de Física, tendo como fonte os professores.

Fonte: a própria autora.

Essa preferência partiu do fato que o questionário de múltipla escolha limita o espaço de respostas disponíveis aos respondentes. Segundo Lederman *et al.* (2002, p. 503, tradução nossa), "[...] a utilização de instrumentos padronizados limita a possibilidade de desenhar conclusões significativas a respeito da natureza dos pontos de vista da NdC [...]".

Assim, elaboramos questões abertas para dar a oportunidade aos respondentes de esclarecer seus próprios pontos de vista, ao comentar, justificar e levantar hipóteses. Essa construção foi realizada pela pesquisadora responsável e interdecodificada pela coordenadora e por membros do grupo de pesquisa IFHIECEM[9]. Enunciamos, no quadro a seguir, as dez perguntas que compuseram esse questionário.

[9] Grupo de pesquisa **Investigações em Filosofia e História da Ciência, Educação Científica e Matemática** (http://www.uel.br/grupo-pesquisa/ifhiecem), com apoio do CNPq e PROPPG/UEL.

Quadro 3 – Perguntas do questionário.

1- Durante o processo de formação inicial, você participou de disciplinas específicas, ou correlatas, cursos complementares ou outros que tenham abordado noções de História da Ciência? Quais?
2- Comente a relação Física x Matemática no ensino de Física.
3- O saber matemático pode ser decisivo no aprender Física? Comente.
4- De acordo com sua experiência docente, no ensino de conteúdos físicos, qual o conteúdo matemático em que os alunos apresentam maior dificuldade? Você poderia levantar hipóteses do porquê desta dificuldade?
5- O que você viu/estudou a respeito do tema matematização na sua graduação?
6- O que você entende por matematização?
7- É possível diferenciar matematização de modelagem? Justifique sua resposta.
8- Cite um conteúdo físico que envolva um processo matematizado.
9- Quais os conteúdos matemáticos envolvidos no exemplo que você citou acima?
10- De acordo com seu exemplo, seria possível enunciar/desenvolver esse conteúdo utilizando outra linguagem que não seja a Matemática? De que maneira? Comente.

Fonte: a própria autora.

Nesse contexto, o questionário, bem como os detalhes e objetivos da pesquisa, foram enviados por *e-mail* para 30 professores, sendo que 12 retornaram com as respostas. Devido ao fato de que dois professores, dentre o rol de respondentes, mostraram-se não ter experiência em sala de aula, optamos em não analisar seus questionários. Por essa razão, serão apresentados os dados de dez indivíduos.

No decorrer da pesquisa, tivemos os seguintes cuidados éticos em relação aos professores e aos dados fornecidos, que, segundo Bogdan e Biklen (1994, p. 77), são:

> 1. As identidades dos sujeitos devem ser protegidas, para que a informação que o investigador recolhe não possa causar-lhe qualquer tipo de transtorno ou prejuízo. O anonimato deve contemplar não só o material escrito, mas também os relatos verbais da informação recolhida durante as observações. O investigador não deve revelar a terceiros informações sobre os seus sujeitos e deve ter particular cuidado para que a informação que partilha no local da investigação não venha a ser utilizada de forma política ou pessoal.
>
> 2. Os sujeitos devem ser tratados respeitosamente e de modo a obter a sua cooperação na investigação. Ainda que alguns autores defendam o uso da investigação dissimulada, verifica-se consenso relativo que na maioria das circunstâncias os sujeitos devem ser informados sobre os objetivos da investigação e o seu consentimento obtido. Os investigadores não devem mentir aos

> sujeitos nem registrar conversas ou imagens com gravadores escondidos.
>
> 3. Ao negociar a autorização para efetuar um estudo, o investigador deve ser claro e explícito com todos os intervenientes relativamente aos termos do acordo e deve respeitá-lo até a conclusão do estudo. Se aceitar fazer algo como moeda de troca pela autorização, deve manter sua palavra. Se concordar em não publicar os seus resultados, deve igualmente manter a palavra dada. Dado que os investigadores levam a sério as promessas que fazem, deve-se ser realista nas negociações.
>
> 4. Seja autêntico quando escrever os resultados. Ainda que as conclusões a que chega possam, por razões ideológicas, não lhe agradar, e se possam verificar pressões por parte de terceiros para apresentar alguns resultados que os dados não contemplam, a característica mais importante de um investigador deve ser a sua devoção e fidelidade aos dados que obtém, confeccionar ou distorcer dados constitui o pecado mortal de um cientista.

Os professores, que gentilmente responderam ao questionário, assinaram um "Termo de consentimento livre e esclarecido", autorizando sua publicação. Também tivemos o cuidado de informá-los de que não havia respostas certas ou erradas, e que gostaríamos de conhecer o que eles pensam.

Por fim, ao considerar as informações acima, destacamos novamente as características qualitativas deste estudo: os dados empíricos compreendem nas respostas obtidas por meio dos questionários e o foco de interesse consiste no processo de construção do conhecimento e não em respostas corretas.

4.3. ANÁLISE DE CONTEÚDO PARA ANÁLISE E COMPREENSÃO DOS DADOS

A problemática desta investigação situa-s em uma perspectiva qualitativa, na qual buscamos descrever e interpretar o discurso de professores de Física quanto ao tema matematização e o papel da Matemática no ensino de Física. Os dados que compõem o *corpus* da análise são provenientes dos questionários respondidos por 10 professores. O intuito foi analisar, de forma detalhada e sistematizada, com base nos referenciais que fundamentaram esta pesquisa, as respostas dos professores.

Elegemos como metodologia de análise de dados a Análise de Conteúdo, assim, nesta seção, vamos fundamentar os aportes teóricos e metodológicos propostos por Bardin (1979). Compreendemos a Análise de Conteúdo de Bardin como:

> [...] um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos, sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de

> produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 1979, p. 42).

Segundo Moraes (1999), o *corpus* da Análise de Conteúdo pode ser constituído de qualquer material, verbal ou não verbal, proveniente de diversas fontes, e explicita que

> [...] os dados advindos dessas diversificadas fontes chegam ao investigador em estado bruto, necessitando, então, ser processados para, dessa maneira, facilitar o trabalho de compreensão, interpretação e inferência a que aspira a análise de conteúdo (MORAES, 1999, p. 10).

A Análise de Conteúdo exige uma organização e, para tanto, é dividida em três etapas: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

A pré-análise é a fase da organização, essa etapa configura-se pela exploração não estruturada e, ao mesmo tempo, sistemática dos documentos que pode envolver:

> a) A leitura flutuante – A primeira atividade consiste em estabelecer contato com os documentos a analisar e em conhecer o texto deixando-se invadir por impressões e orientações. [...] Pouco a pouco, a leitura vai-se tornando mais precisa, em função de hipóteses emergentes, da projeção de teorias adaptadas sobre o material e da possível aplicação de técnicas utilizadas sobre materiais análogos.
>
> b) A escolha do documento – O universo de documentos de análise pode ser determinado a priori. [...] Estando o universo demarcado (o gênero de documentos sobre os quais se pode efetuar a análise), é muitas vezes necessário proceder-se à constituição do corpus. O corpus é o conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos (BARDIN, 1979, p. 96).

Na ***pré-análise*** desta pesquisa, o universo de documentos foram os questionários aplicados. Optamos por não formular hipóteses, pois além de não ser uma obrigatoriedade da metodologia, o objetivo foi identificar as noções dos professores manifestadas nos questionários.

Optamos por uma análise temática, que, segundo Bardin (1979, p. 77), refere-se à "contagem de um ou vários temas ou itens de significação numa unidade de codificação previamente determinada". Assim, elaboramos previamente Unidades de Análise, que compreenderam Unidades Temáticas de Contexto (UC), com suas respectivas Unidades Temáticas de Registro (UR). Adotamos o significado de Unidade de Registro e o de Unidade de Contexto como:

- *Unidade de registro* – É a unidade de significação a codificar e corresponde ao segmento de conteúdo a considerar como unidade de base, visando a categorização e a contagem frequencial (BARDIN, 1979, p. 104).
- *Unidade de contexto* – A unidade de contexto serve de unidade de

> compreensão para codificar a unidade de registro e corresponde ao segmento da mensagem cujas dimensões (superiores às unidades de registro) são ótimas para que se possa compreender a significação exata da unidade de registro (BARDIN, 1979, p. 107).

Segundo Bardin (1979), um bom conjunto de categorias deve possuir as seguintes características: exclusão mútua, homogeneidade, pertinência, objetividade e fidelidade e produtividade. Assim, de acordo com as características supracitadas, elaboramos as UC e UR temáticas para cada uma das questões. O questionário e as Unidades de Análise foram elaborados pela autora desta pesquisa com base no referencial teórico deste trabalho e interdecodificados por integrantes do grupo de estudos e pesquisa IFHIECEM.

Após a elaboração das unidades, iniciamos a etapa de *exploração do material*, constituída pela transcrição de todas as respostas e, quando necessário, cuidadosas adequações às regras gramaticais da Língua Portuguesa.

Em seguida, partimos para a classificação dos dados, em função das UC e UR previamente formuladas. Para tanto, agrupamos os fragmentos textuais obtidos com as respostas dos questionários nas UR correspondentes. Em relação a esse processo, Bardin (1979, p. 117) revela que:

> é uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto, por diferenciação e, seguidamente, por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos. As categorias, são rubricas ou classes, as quais reúnem um grupo de elementos (unidades de registro, no caso da análise de conteúdo) sob um título genérico, agrupamento esse efetuado em razão dos caracteres comuns destes elementos.

Bardin (1979, p. 118) ressalta que "classificar elementos em categorias, impõe a investigação do que cada um deles tem um comum com os outros", e que o critério de classificação pode ser semântico, sintático, léxico ou expressivo. Ainda, segundo a autora,

> A análise de conteúdo assenta implicitamente na crença de que a categorização (passagem de dados brutos a dados organizados) não introduz desvios (por excesso ou por recusa) no material, mas que dá a conhecer índices invisíveis no nível dos dados brutos (BARDIN, 1979, p. 119).

Optamos por realizar uma regra de contagem, que calcule a frequência relativa simples da ocorrência dos registros nas UR, já que, segundo Bardin (1979, p. 109), "a importância de uma unidade de registro aumenta com a frequência de aparição". Ressaltamos que "a análise qualitativa não rejeita toda e qualquer forma de quantificação" (BARDIN, 1979, p. 115).

Na etapa de *tratamento dos resultados, inferência e interpretação*, realizamos sua descrição, de modo a evidenciar suas relações com o contexto considerado e suas frequências relativas. Posteriormente, elaboramos a construção de um metatexto de análise, que dialoga com os referenciais teóricos, a fim de identificar as noções dos professores.

Capítulo 5

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

5.1. A RESPEITO DOS PROFESSORES QUE RESPONDERAM O QUESTIONÁRIO

Os professores participantes deste trabalho possuíam uma característica em comum e justamente por isso foram selecionados: lecionam disciplinas de Física.

Inicialmente, pensávamos que iríamos lidar apenas com professores que cursaram licenciatura em Física, mas encontramos também matemáticos e engenheiros lecionando as disciplinas de Física. Ao todo, dez professores participaram da coleta de dados e, para esta pesquisa, foram designados por P1 (professor 1), P2 (professor 2) e assim sucessivamente, com a finalidade de preservar suas identidades.

A seguir, apresentamos, de forma sucinta, o contexto de formação e a experiência profissional de cada um deles. Tais informações foram colhidas por meio do questionário aplicado e pela consulta ao currículo Lattes. A ordem de apresentação dos sujeitos é aleatória, assim como a ordem da análise de seus questionários.

P1: possui formação em licenciatura em Física por uma universidade estadual da região em que vive. Atualmente é mestrando na área de Ensino de Ciências e Educação Matemática pela mesma universidade e bolsista pela CAPES. Há quatro anos leciona a disciplina de Física no Ensino Médio.

P2: cursou Matemática em uma universidade estadual da região em que vive. Possui mestrado em Educação para Ciência e Matemática por uma universidade estadual em estado próximo de onde vive. Leciona há oito anos no Ensino Médio e Superior.

P3: cursou Engenharia Química em uma escola de engenharia estadual da sua região. Possui mestrado e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela mesma escola de engenharia. Atua como professor de Física há sete anos no Ensino Médio e há três anos no Ensino Superior. Atualmente é coordenador do curso superior em Tecnologia em Automação Industrial em uma universidade particular da região em que vive e leciona disciplinas de Física na mesma universidade.

P4: cursou Matemática em uma universidade particular da região em que vive. Possui especialização em Ensino de Matemática por uma fundação particular de um município de sua região. Leciona há 25 anos as disciplinas de Física e Matemática no Ensino Médio. Atualmente, além de lecionar, é coordenador pedagógico de uma escola particular na cidade em que vive.

P5: possui formação em licenciatura em Física por uma universidade estadual da região em que vive. Concluiu, recentemente, o mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática em outra universidade estadual. Há 13 anos, leciona disciplinas de Física tanto no Ensino Médio quanto no Superior.

P6: cursou Física em uma universidade estadual da região em que vive. Possui especialização em Ensino de Matemática por uma faculdade particular de sua região. Atualmente, é mestranda na área de Ensino de Ciências e Educação Matemática em uma universidade estadual. Há um ano, leciona a disciplina de Física no Ensino Médio e Superior.

P7: cursou licenciatura em Física em uma universidade estadual da região em que vive. Possui especialização em Ensino de Física pela mesma universidade. Leciona disciplinas de Física há dois anos, tanto no Ensino Médio quanto no Superior. Atualmente é Assessor Especial nos laboratórios didáticos do departamento de Física da universidade estadual em que se formou.

P8: possui graduação em Física e mestrado em Educação para Ciência e Matemática por uma universidade estadual de sua região. Atualmente é doutorando do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática em uma universidade estadual da região em que vive. Foi aluno do programa de doutorado sanduíche (PDSE-CAPES) de setembro/2012 a maio/2013 na University of Massachusetts/Amherst - EUA. Leciona há oito anos no Ensino Médio.

P9: possui licenciatura em Física por uma universidade estadual da região em que vive. Coordenou um projeto destinado a aprimorar formas criativas para o ensino da astronomia na sociedade, na mesma universidade. Leciona há cinco anos a disciplina de Física no Ensino Médio.

P10: cursou licenciatura em Física em uma universidade estadual da região em que vive. Possui especialização em Ensino de Física e atualmente é mestrando na área de Ensino de Ciências e Educação Matemática na mesma universidade estadual. Há seis anos, atua como professor de Física no Ensino Médio e em cursos pré-vestibulares.

A seguir, apresentamos um quadro-síntese com algumas características dos sujeitos participantes.

Quadro 4 – Síntese do perfil dos professores entrevistados.

Sujeito	Formação				Experiência profissional
	Graduação	Especialização	Mestrado	Doutorado	
P1	Licenciatura em Física UEL-PR		Ensino de Ciências e Educação Matemática (em curso) UEL-PR		Aproximadamente 4 anos – Ensino Médio
P2	Licenciatura em Matemática UNESP-SP		Educação para Ciência e Matemática UEM-PR		Aproximadamente 8 anos – Ensino Médio/Superior
P3	Engenharia Química EEL-USP-SP		Ciência e Engenharia de Materiais EESC-USP-SP	Ciência e Engenharia de Materiais EESC-USP-SP	Aproximadamente 7 anos – Ensino Médio/Superior
P4	Licenciatura em Matemática UNIMAR-SP	Ensino de Matemática FEMA-SP			Aproximadamente 25 anos – Ensino Médio
P5	Licenciatura em Física USP-SP		Ensino de Ciências e Educação Matemática UEL-PR		Aproximadamente 13 anos – Ensino Médio/Superior/ cursos preparatórios
P6	Licenciatura em Física UNICENTRO - PR	Ensino de Matemática Faculdade GUAIRACÁ-PR	Ensino de Ciências e Educação Matemática (em curso) UEL-PR		Aproximadamente 1 ano – Ensino Médio/Superior
P7	Licenciatura em Física UEL-PR	Física para o Novo Ensino Médio UEL-PR			Aproximadamente 2 anos – Ensino Médio/Superior
P8	Graduação em Física UEM-PR		Educação para Ciência e Matemática UEM-PR	Ensino de Ciências e Educação Matemática UEL-PR	Aproximadamente 8 anos – Ensino Médio
P9	Licenciatura em Física UNESP-SP				Aproximadamente 5 anos – Ensino Médio
P10	Licenciatura em Física UEL-PR	Física para o Novo Ensino Médio UEL-PR	Ensino de Ciências e Educação Matemática (em curso) UEL-PR		Aproximadamente 6 anos – Ensino Médio/cursos preparatórios

Fonte: da própria autora.

5.2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Nesta seção, apresentamos a análise dos dados empíricos. Para tanto, exibiremos, em cada Unidade de Contexto, o objetivo da questão, a justificativa teórica – quando necessária –, as suas pretensões, os trechos dos discursos dos professores participantes da pesquisa de acordo com a unitarização estruturada, um histograma das frequências de cada Unidade de Registro e, por fim, a análise da questão. Lembramos que as Unidades Temáticas de Contexto (UC) e as Unidades Temáticas de Registro (UR) prévias foram apresentadas no capítulo 4 desta dissertação.

A análise desenvolvida, bem como a articulação entre os dados e os referenciais teóricos da pesquisa vão subsidiar as inferências que apresentaremos ao final de cada UC.

5.2.1. UNIDADE TEMÁTICA DE CONTEXTO 01

A questão 01 tem por objetivo identificar se os professores receberam aportes históricos da Ciência em algum momento de sua formação inicial.

- **Justificativa teórica e pretensões:**

Como já discutido no início deste trabalho, muitos pesquisadores têm argumentado que a História da Ciência (HC) deveria fazer parte da formação dos professores de Ciências, por contribuir na compreensão da Ciência.

Matthews (1995, p. 188) argumenta a favor da História, Filosofia e também Sociologia da Ciência, ao afirmar que:

> [...] esta promove um ensino de melhor qualidade (mais coerente, estimulante, crítico, humano, etc.). Esse argumento vantajoso não é o único: pode-se argumentar a favor de um professor que tenha conhecimento crítico (conhecimento histórico e filosófico) de sua disciplina mesmo que esse conhecimento não seja diretamente usado em pedagogia, há mais em um professor do que apenas aquilo que se pode ver em sala de aula.

Mas o que consideramos como foco central desta questão é investigar a contribuição da História da Ciência na compreensão da Natureza da Ciência (NdC), que, dentre muitos motivos já explicitados, propicia ao professor o conhecimento da sua Ciência, nesse caso, a Física.

> A HC tem sido amplamente considerada como adequada para atingir vários propósitos na formação científica básica podendo apresentar a construção socio-histórica do conhecimento, a dimensão humana da ciência, e, especialmente, promover o entendimento da NdC (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2010, p. 2).

Pretendemos investigar se as noções de História da Ciência contribuíram para a compreensão da matematização no processo de construção do conhecimento físico. Tal contribuição será investigada no decorrer das análises do questionário.

- **Respostas da questão 01:**

No Quadro 11, apresentamos os registros obtidos agrupados em suas correspondentes UR. Há também o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC1. Ressaltamos que a resposta do professor P2 foi desmembrada em duas Unidades distintas (1.1 e 1.2), por essa razão teremos 11 registros.

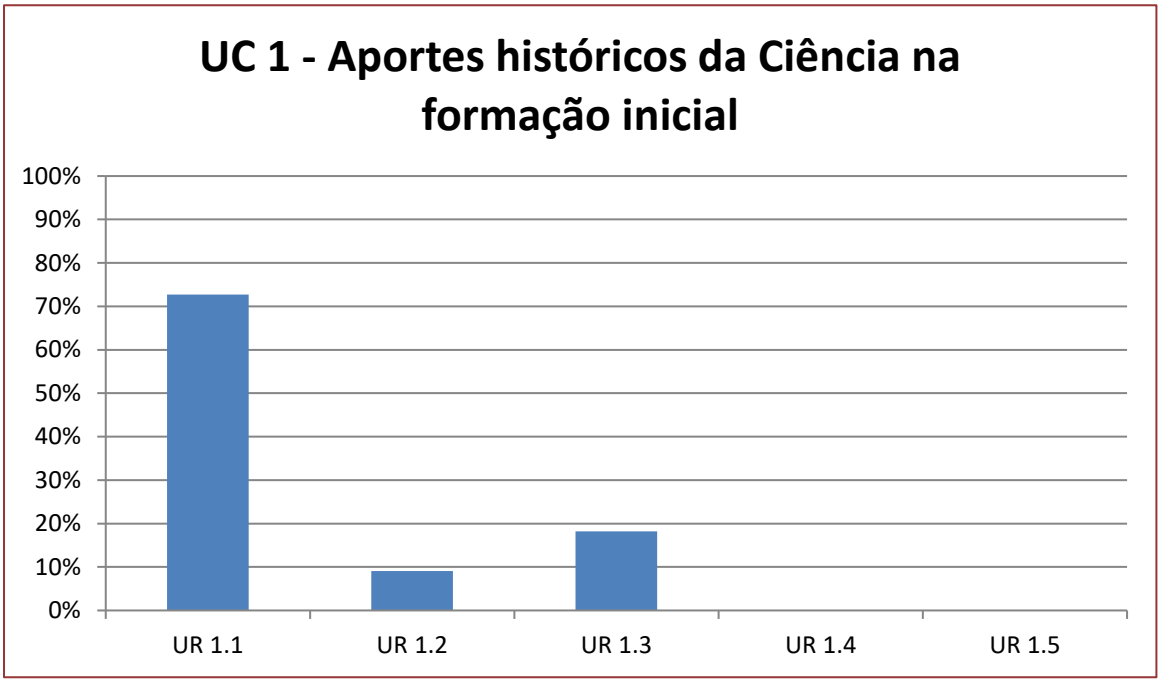
Quadro 5 – Respostas das UR referentes à questão 01.

UC1 - Aportes históricos da Ciência na formação inicial	
UR 1.1 Noções de História da Ciência.	Frequência: 8 registros (72,7%) *P1, P7: Sim. Evolução dos conceitos e Teorias da Física.* *P2: Sim, disciplina de História e Filosofia da Ciência e da Matemática.* *P4: Sim. Disciplina: História da Matemática e Noções Gerais da Ciência.* *P5: Tópicos de História da Física Moderna, Tópicos de História da Física Clássica e Evolução dos Conceitos da Física.* *P8 e P9: História da Física.* *P10: Estrutura dinâmica das teorias científicas.*
UR 1.2 Noções de História da Ciência em disciplinas e/ou atividades não específicas.	Frequência: 1 registro (9,1%) *P2: Curso de extensão: Introdução à História da Ciência e da Matemática.*
UR 1.3 Ausência de aportes históricos da Ciência.	Frequência: 2 registro (18,2%) *P3: Nenhuma disciplina.* *P6: Não.*
UR 1.4 Noções de História da Ciência sem especificação.	Frequência: 0 registro (0%)
UR 1.5 Não contempla a pergunta	Frequência: 0 registro (%)

Fonte: da própria autora.

No Histograma 01, podemos observar as frequências relativas registradas para cada uma das UR da UC1.

Histograma 1 – Frequências relativas das UR referentes aos dados da questão 01.



Fonte: da própria autora.

Como podemos obervar no Quadro 11 e no Histograma 01, a maioria (72,7%) dos professores receberam noções de História da Ciência em disciplinas específicas (UR 1.1), sendo que um deles (9,1%) recebeu, também, tais noções por meio de um curso de extensão (UR 1.2). Apenas dois professores (18,2%) afirmaram a ausência de aportes históricos (UR 1.3), sendo eles P3 e P6. Vale ressaltar que P3 tem graduação em Engenharia Química e P6, licenciatura em Física.

- **Análise desta Unidade:**

Tendo em vista que as disciplinas de HC promovem discussões epistemológicas, estas podem possibilitar um contato com reflexões a respeito da Natureza da Ciência, que envolvem o processo de como o conhecimento científico se constrói e se desenvolve. Sendo a matematização parte integrante do processo de construção do conhecimento físico, acreditamos que tais disciplinas podem contribuir para o entendimento da matematização.

Sendo assim, esperamos, nas próximas Unidades, identificar nas respostas dos oito professores que receberam noções de História da Ciência elementos que evidenciem a contribuição desta na compreensão do processo de matematização.

5.2.2. UNIDADE TEMÁTICA DE CONTEXTO 02

O objetivo da questão 02 é conhecer qual o papel da Matemática no ensino de Física segundo os professores.

- **Justificativa teórica e pretensões:**

A Matemática e a Física estão intimamente relacionadas, exercendo uma relação de influência mútua fundamental para o desenvolvimento de ambas. Se olharmos para a História da Física, ou Ciências Naturais, podemos encontrar muitos exemplos de teorias e experiências motivadas pelo resultado de equações matemáticas (KARAM; PIETRICOLA, 2009). Mas não podemos deixar de citar também a influência da Física na Matemática, pois vários conceitos matemáticos têm suas origens associadas a problemas genuinamente físicos.

> Como dissociar o surgimento do cálculo diferencial, com o conceito de derivada, da preocupação com a descrição do movimento e, mais especificamente, do conceito de velocidade? Como negar a relação entre os estudos sobre a propagação do calor e o desenvolvimento da série de Fourier? É possível pensar na história da trigonometria sem associá-la à astronomia? Temos como separar a geometria da óptica? O que dizer sobre a importância dos fenômenos físicos para o avanço do estudo sobre as equações diferenciais? (KARAM, 2007, p. 3-4).

Com as considerações acima, percebemos uma imbricação entre a Matemática e a Física a ponto de os autores Bonilo e Budinich (2005 *apud* KARAM; PIETROCOLA, 2009, p. 3) ressaltarem não haver sentido em se falar do papel da Matemática na Física, tal a relação de impregnação entre elas.

> A teoria física não é algo ao qual a matemática pode ser adicionada externamente, e assim possibilitando o questionamento sobre sua eventual efetividade. As teorias da física moderna e contemporânea são signos físico-matemáticos. Eles são algo que não pode ser dividido em uma parte matemática e uma não matemática. [...] Assim, refletir sobre o problema da efetividade da matemática é refletir sobre um falso-problema, ou seja, o problema não existe uma vez que matemática é uma parte indivisível da física moderna e contemporânea.

Diante do exposto, vamos investigar qual o papel que tem sido atribuído à Matemática no contexto do ensino de Física.

- **Respostas da questão 02:**

No Quadro 12, apresentamos os registros obtidos agrupados em suas correspondentes UR. Há também o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC2.

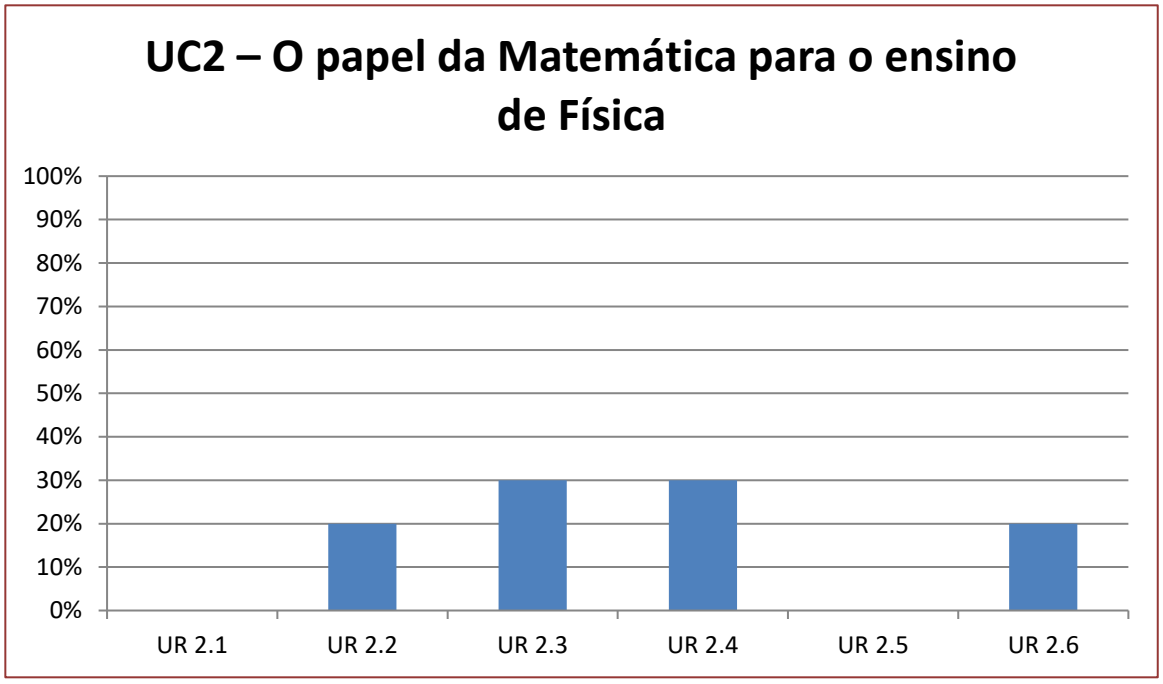
Quadro 6 – Respostas das UR referentes à questão 02.

UC2 – O papel da Matemática para o ensino de Física	
UR 2.1 Apresenta a Matemática como recurso gnosiológico.	Frequência: 0 registro (%)
UR 2.2 Apresenta a Matemática como instrumento para descrever fenômenos físicos	Frequência: 2 registros (20%) *P7: A linguagem matemática é primordial para descrever as observações, e ou deduções para construção de modelos (teorias) físicos a respeito dos fenômenos naturais.* *P9: A Física é responsável pela explicação dos eventos que nos cercam, e parte dela é gerada através de cálculos onde a Matemática é inteiramente envolvida.*
UR 2.3 Participação da Matemática na compreensão e aprimoramento do caráter teórico e lógico formal de teorias	Frequência: 3 registros (30%) *P2: A relação conjunta destas duas disciplinas no ensino de Física é essencial para o bom desenvolvido e entendimento de conceitos físicos.* *P3: As duas ciências se completam. Não há como falar de uma sem citar exemplos ou aplicações da outra. A Matemática é essencial para provar as leis da Física. Já a Física serve como exemplos práticos para professores que lecionam Matemática, no que tange fornecer aplicações aos alunos de Ensino Médio.* *P4: A Matemática é fundamental para o desenvolvimento do ensino da Física, há interação direta entre as disciplinas e uma compreensão adequada dos conceitos físicos passa por uma adequada modelagem matemática.*
UR 2.4 Contribuição da Matemática na epistemologia.	Frequência: 3 registros (30%) *P1: A Matemática tem grande relevância no ensino de Física. Ela é uma das linguagens com a qual essa Ciência se desenvolve. Algumas vezes ela se mostra muito complexa para ser apresentada para estudantes de Ensino Médio, entretanto, caso não possa ser simplificada deve ao menos ser reconhecida como parte integrante do desenvolvimento da Física.* *P8: No ensino de Física a Matemática faz parte da estruturação do conhecimento físico bem como de suas ideias e conceitos.* *P6: Elas se complementam.*
UR 2.5 Apresenta a Matemática como um obstáculo para o ensino de Física	Frequência: 0 registro (%)
UR 2.6 Não contempla a pergunta	Frequência: 2 registros (20%) *P5: [...] se acaso você estiver se referindo à maneira como os currículos devem ser estruturados, diria que é de uma forma que os conteúdos trabalhados na Matemática forneçam subsídios conceituais para que o professor de Física aborde o seu conteúdo.* *P10: A Física e a Matemática muitas vezes encontram-se fragmentadas, pois alguns alunos e/ou professores não relacionam as mesmas com a sua devida importância e aplicabilidade.*

Fonte: da própria autora.

No Histograma 2, podemos observar as frequências relativas registradas para cada uma das UR da UC2.

Histograma 2 – Frequências relativas das UR referentes aos dados da questão 02.



Fonte: da própria autora.

Como podemos obervar no Quadro 12 e no Histograma 2, não há um consenso por parte dos professores quanto ao papel da Matemática no ensino de Física. As maiores frequências referem-se à UR 2.3 Participação da Matemática na compreensão e aprimoramento do caráter teórico e lógico formal de teorias (30%) e na UR 2.4 Contribuição da Matemática na epistemologia (30%).

Observamos, ainda, que dois professores (20%) apresentam a Matemática como instrumento para descrever fenômenos físicos (UR 2.2) e outros dois (20%) não compreenderam a pergunta. Não houve registro na UR 2.1, que apresenta a Matemática como recurso gnosiológico, e UR 2.5, que a apresenta como obstáculo para o ensino de Física.

- **Análise desta Unidade:**

De acordo com as respostas dadas pelos professores, percebemos que eles entendem que a Matemática é importante no ensino de Física, mas muitos limitaram essa importância.

P7 e P1 reconhecem que a Matemática é uma linguagem utilizada pela Física, assim como destacado por nossos referenciais teóricos; porém, P7 descreve-a como simples ferramenta para um fim determinado: "descrever as observações, e ou deduções para construção de modelos (teorias)". Já P1 admite uma "grande relevância", mas, que, por vezes, "ela se mostra complexa para ser apresentada para estudantes do Ensino Médio".

Segundo ele, devemos simplificar a Matemática envolvida ou, ao menos, reconhecê-la "como parte integrante do desenvolvimento da Física".

Uma visão ingênua do papel da Matemática está explicitada na fala de P9: primeiro ele resume a Física como uma Ciência "responsável pela explicação dos eventos que nos cercam"; em seguida, ele afirma que parte dessa explicação "é gerada através de cálculos". Segundo Robilotta (1988, p. 13),

> Os conhecimentos da Física englobam fenômenos e teorias, sendo estas últimas baseadas em conceitos e leis, e estruturadas por meio da matemática. As leis fazem o papel de "postulados" da estrutura matemática da teoria, "postulados" esses que são formulados levando-se em conta a experimentação. As leis físicas fogem, portanto, ao domínio da lógica pura, uma vez que não são justificáveis somente em termos matemáticos. Por isso, as teorias também contêm elementos não lógicos, já que elas são baseadas nas leis.

Com base no depoimento de P9, podemos inferir que este tem uma visão epistemológica equivocada quanto à própria Física e ao papel da Matemática nesta, da mesma forma que a disciplina de História da Física, citada por ele na questão anterior, não proporcionou noções adequadas a respeito da Natureza da Ciência.

Já P3, em seu depoimento, reconhece que a Matemática e a Física completam-se, assim como podemos observar nos registros de P2, P3, P4, P6 e P10, ao afirmar que "a Física e a Matemática muitas vezes encontram-se fragmentadas", porém essa complementaridade é vista como subsidiária em que "a Matemática é essencial para provar as leis da Física" e "a Física serve como exemplos práticos".

Pietrocola e Silva (2003, p. 1) comentam essas noções equivocadas apresentadas em nossos questionários e afirmam que "muitos professores ainda têm a concepção ingênua de que, devido a sua precisão e universalidade asseguradas por sua estrutura formal, a Matemática é apenas uma ferramenta a mais utilizada pelo método empírico-indutivo".

Muitas vezes, tem-se a impressão de que, por uma necessidade, o físico vai até a "loja da Matemática" e adquire o conceito que lhe caia bem. Poincaré (1995) questiona essa posição ingênua e ressalta que a Matemática não deve ser tida pelo físico apenas como uma fonte de fórmulas, há que se entender que existe uma colaboração mais íntima, em que essas duas Ciências interpenetram-se e sua essência é a mesma.

Compreendemos que a Matemática é uma linguagem, uma forma de expressão da Física e que há uma imbricação entre essas Ciências. Se tivermos que definir o papel para a Matemática na Física, seria o de estruturador do conhecimento físico, assim como destacado por Batista (2004), Pietrocola e Silva (2003). P4, P1, P8 e P2 estão em consonância com esses autores, atribuindo à Matemática um papel importante na estruturação do conhecimento físico (P8), no desenvolvimento da Física e do seu ensino (P1 e P4) e para o entendimento dos conceitos físicos (P2).

5.2.3. UNIDADE TEMÁTICA DE CONTEXTO 03

A questão 03 tem por objetivo investigar qual a influência do saber matemático na aprendizagem de conteúdos físicos na visão dos professores.

- **Justificativa teórica e pretensões:**

Há um conflito quanto à influência do saber matemático no aprender Física. Alguns professores entendem que a Matemática seria um pré-requisito para um bom desempenho em Física e acabam atribuindo o mau desempenho dos alunos à falta de domínio matemático. Definir essa influência está intimamente ligado ao papel atribuído à Matemática no ensino de Física, presentes na questão anterior.

Segundo Pietrocola (2002), admitir que a maioria dos problemas do aprendizado da Física está no domínio da Matemática reflete um posicionamento epistemológico ingênuo, pois se atribui à segunda uma função de instrumento da primeira.

De acordo com os PCN+, a Matemática não deve ser um pré-requisito da Física, mas também não deve ser desprezada.

> [...] a formalização matemática continua sendo essencial, desde que desenvolvida como síntese de conceitos e relações, compreendidos anteriormente de forma fenomenológica e qualitativa. Substituir um problema por uma situação-problema, nesse contexto, ganha também um novo sentido, pois se passa a lidar com algo real ou próximo dele (BRASIL, 2002, p. 85).

Uma alternativa apresentada pelos PCN+ para amenizar o excesso de fórmulas seria um ensino contextualizado por meio de uma situação-problema, na qual o aluno deve: identificar a situação-problema, levantar hipóteses, escolher caminhos para a solução e fazer uma análise dos resultados, principalmente no que diz respeito à sua coerência com o que o aluno conhece da realidade (BRASIL, 2002).

Entendemos que o conhecimento das operações matemáticas é necessário para a aplicação dos conceitos nas resoluções de problemas, mas essa não é a única condição necessária.

Pretendemos, com esta questão, conhecer o nível de influência exercido pela Matemática no aprendizado de Física na opinião dos professores e, posteriormente, relacioná-lo com o papel atribuído à Matemática na questão 02.

- **Respostas da questão 03:**

No Quadro 13, apresentamos os registros obtidos agrupados em suas correspondentes UR. Há também o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC3.

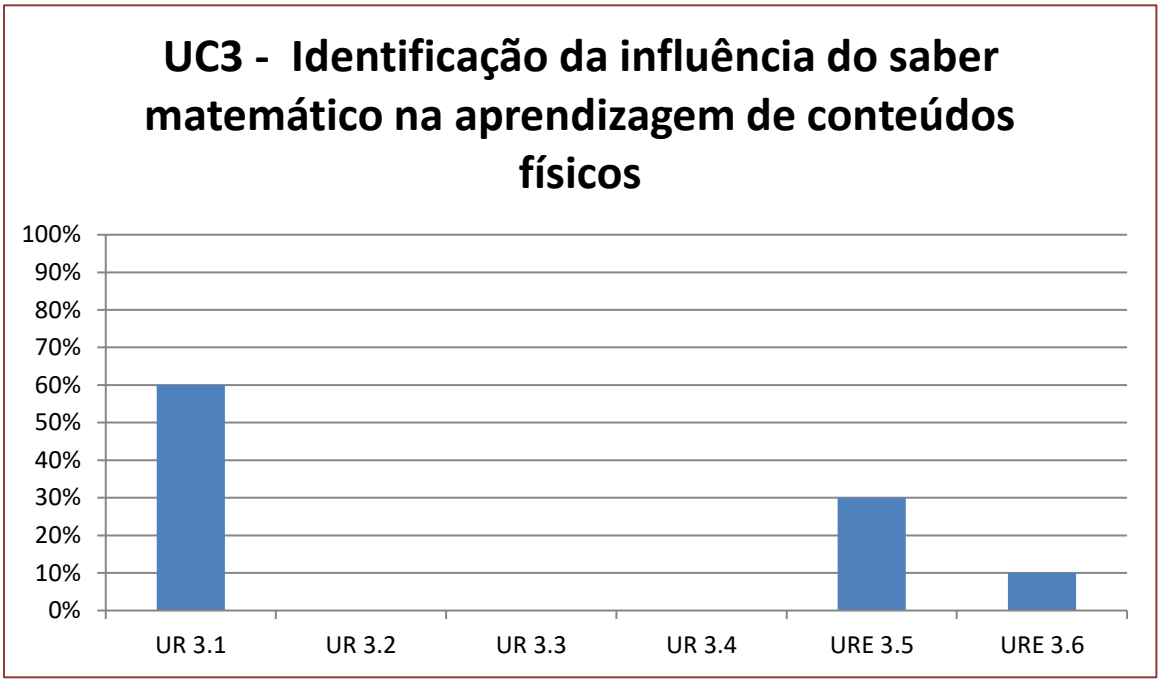
Quadro 7 – Respostas das UR referentes à questão 03.

UC3 - Identificação da influência do saber matemático na aprendizagem de conteúdos físicos	
UR 3.1 Reconhece o poder decisivo e comenta	Frequência: 6 registros (60%) *P1: Sim. Diversas vezes a Matemática se mostrará como a linguagem mais adequada para determinados temas, ou até mesmo fundamental para compreendê-los, sendo que ignorá-la pode acabar deixando o conhecimento daquele tema incompleto.* *P2: Acredito que sim, pois a Matemática serve como ferramenta para o processo de ensinar e aprender Física.* *P3: Sim, pois a aprendizagem em Física leva em consideração o conhecimento prévio de algumas ferramentas matemáticas por parte dos alunos. Quando o aluno apresenta alguma carência em relação aos conceitos básicos da Matemática, o mesmo pode vir a se desmotivar no aprendizado em Física, pelo simples motivo de não conseguir obter um êxito integral nos exercícios de aplicação.* *P4: Evidente que sim, o saber matemático envolve raciocínio e pensamento lógico, e se o aluno levar este modelo para os ensinamentos físicos ele atingirá seu objetivo de maneira satisfatória.* *P9: Sim, a Física necessita de aplicação de cálculos para a explicação de teorias como para a resolução de problemas.* *P10: Sim, pois assim como nos comunicamos por meio da fala e escrita, a Matemática é um dos meios de comunicação entre um fenômeno e sua aplicação, assim como a previsão de fatos.*
UR 3.2 Reconhece o poder decisivo, mas não comenta	Frequência: 0 registro (%)
UR 3.3 Não reconhece o poder decisivo e comenta	Frequência: 0 registro (%)
UR 3.4 Não reconhece o poder decisivo, mas não comenta	Frequência: 0 registro (%)
URE 3.5 O reconhecimento ou não reconhecimento, dependem de vários fatores	Frequência: 3 registros (30%) *P5: Depende o que é esse saber matemático, se entendermos a Física como a descrição matemática da natureza, podemos deduzir que a Matemática estará de alguma forma envolvida, mas é possível que o indivíduo se atenha apenas as descrições, deixando a Matemática como algo a ser resolvido de forma mecânica.* *P6: Dependendo da abordagem. Caso se opte por uma abordagem conceitual o saber matemático não é decisivo, agora se for trabalhar quantitativamente a Matemática é necessária.* *P8: Depende do tipo de relação que você estabelece entre a Matemática e a Física, do meu ponto de vista, Matemática e Física formam uma única disciplina quando nos referimos a conhecimento físico, já que eu posso pensar a realidade em termos de relação de igualdade, lógica, semelhança, equivalência, comutabilidade, quantidade, ao mesmo tempo em que posso representá-la com símbolos e objetos.*
URE 3.6 Não contempla a pergunta	Frequência: 1 registro (10%) *P7: É uma ferramenta muito importante em Física sim, pois os fenômenos naturais podem ser descritos em linguagem matemática.*

Fonte: da própria autora.

No Histograma 3, podemos observar as frequências relativas registradas para cada uma das UR da UC3.

Histograma 3 – Frequências relativas das UR referentes aos dados da questão 03.



Fonte: da própria autora.

Considerando o Quadro 13 e o Histograma 3, percebemos que a maioria (60%) dos professores reconhece que o saber matemático pode ser decisivo no aprender Física e oferecem diferentes justificativas, sendo elas:

- a falta da Matemática deixaria o conhecimento de um determinado conteúdo físico incompleto (P1);

- a Matemática seria uma ferramenta no processo de ensino e aprendizagem (P2);

- os conceitos básicos da Matemática constituiriam os conhecimentos prévios dos alunos, sem os quais poderia haver desmotivação por não conseguir resolver os exercícios com êxito (P3);

- como o saber matemático envolve raciocínio e pensamento lógico, estes, sem dúvidas, conduziriam o aluno a atingir, satisfatoriamente, seu objetivo (P4);

- a Física precisa da Matemática como fonte de explicação e resolução de problemas (P9);

- a Matemática é a linguagem da Física (P10).

Em relação às outras respostas, 30% responderam que o poder decisivo do saber matemático depende de fatores como:

- se utilizar os conceitos matemáticos de forma mecânica, o saber matemático não seria decisivo (P5);

- se a abordagem for conceitual, o saber matemático não seria decisivo, mas se a abordagem for quantitativa, então seria (P6).

- se entender que a Matemática e a Física formam uma única disciplina, é possível expressar um conhecimento de diferentes maneiras (P8).

Percebemos, ainda, que um (10%) professor não compreendeu a pergunta.

- **Análise desta Unidade:**

Analisando os registros dos professores, percebemos que P2, P3, P7 e P9 referem-se à Matemática como uma ferramenta para um fim determinado.

Vale ressaltar que P2 e P3, ao falar da relação da Matemática com a Física, na questão anterior, deram a elas o sentido de complementaridade; agora, P2 emprega o sentido de subsidiária "para o processo de ensinar e aprender Física"; e P3 admite que algumas ferramentas matemáticas deveriam ser conhecimentos prévios do aluno no processo de aprendizagem. P7 e P9 mantiveram o discurso da questão anterior, em que a Matemática é vista como instrumento para descrever fenômenos e explicar teorias.

Com os registros de P2 e P3, constatamos certa inconsistência epistemológica no discurso de ambos, evidenciando pouca clareza a respeito da natureza do conhecimento físico.

Concluímos que os professores compartilham da ideia de que se deve primeiro aprender Matemática para depois aprender Física, o que, a nosso ver, além de incorreta, essa noção contraria muitas vezes a própria sequência histórica.

5.2.4. UNIDADE TEMÁTICA DE CONTEXTO 04

A questão 04 tem por objetivo identificar, segundo os professores, quais conteúdos matemáticos os alunos apresentavam maior dificuldade na resolução de exercícios de Física.

Além do objetivo da questão, exposto acima, pretendíamos, ainda, verificar se algum conteúdo matemático seria citado com maior frequência, evidenciando um consenso quanto ao assunto "mais difícil".

Outra pretensão seria conhecer as hipóteses levantadas pelos professores a respeito de tal dificuldade e investigar a origem do problema.

- **Respostas da questão 04:**

No Quadro 14, apresentamos os registros obtidos agrupados em suas correspondentes UR. Há também o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC4.

Quadro 8 – Respostas das UR referentes à questão 04.

UC4 - Identificação de conteúdos matemáticos que os alunos apresentam maior dificuldade	
UR 4.1 Exemplificação com levantamento de hipóteses	Frequência: 6 registros (60%) *P1: Trigonometria e funções trigonométricas. Aparentemente os alunos acabam tendo um contato muito superficial ou irrelevante com esse tema no Ensino Fundamental, e no Ensino Médio necessitam dele em Física antes de o terem estudado em Matemática, o que atrasa bastante o trabalho.* *P2: Tenho percebido que os alunos do Ensino Médio e até mesmo da Universidade, têm apresentado diversas dificuldades quando se deparam com o campo conceitual da álgebra.* *Penso que tais dificuldades estão relacionadas desde o Ensino Fundamental quando é apresentada aos alunos a álgebra, tornando-se em "obstáculo epistemológico" esta separação entre aritmética e a álgebra. Isso ocorre entre o 6º e 7º ano do Ensino Fundamental ciclo II.* *P3: Por incrível que pareça a maior dificuldade do aluno vem da base no aprendizado em Matemática. O aluno que não aprendeu com acurácia uma regra de três, um cálculo com potência de dez, um cálculo para se determinar o valor de uma variável etc. Este aluno "trava" em conhecimentos tão básicos, que se torna incapaz de evoluir para outros conceitos mais trabalhosos que deveriam trazer maiores dificuldades, tais como um cálculo com logaritmo, o plote de uma parábola, uma interpolação etc. Fico imensamente triste com as falhas que ocorrem na base (Ensino Fundamental I), principalmente em escolas públicas. Esses danos, na grande parte dos casos, são irreversíveis. Vejo isso in locu, pois leciono em uma das maiores instituições privadas de Ensino Superior do Brasil e vejo que os alunos que aqui estão "penam" demais para resolver uma multiplicação em cruz. É lastimável...* *P4: Acredito que os conceitos fundamentais são os de maiores dificuldades na aplicabilidade na Física, como as equações (1º e 2º graus), além da resolução de sistemas. O problema disso vem da formação inadequada do aluno no Ensino Fundamental.* *P8: Não posso afirmar com certeza, mas acredito que a Álgebra é um dos grandes problemas nas aulas de Física, devido ao grande número símbolos que representam as fórmulas, pois, nas aulas de Matemática eles estão acostumados com x e y, quando substituímos por (F, a, s, p) muitas vezes eles não conseguem resolver operações básicas como a divisão e multiplicação.* *P10: Geometria e Álgebra. Penso que essas dificuldades ocorrem, pois no momento do ensino de conteúdos matemáticos (Ensino Fundamental), falta contextualização*

Fonte: da própria autora.

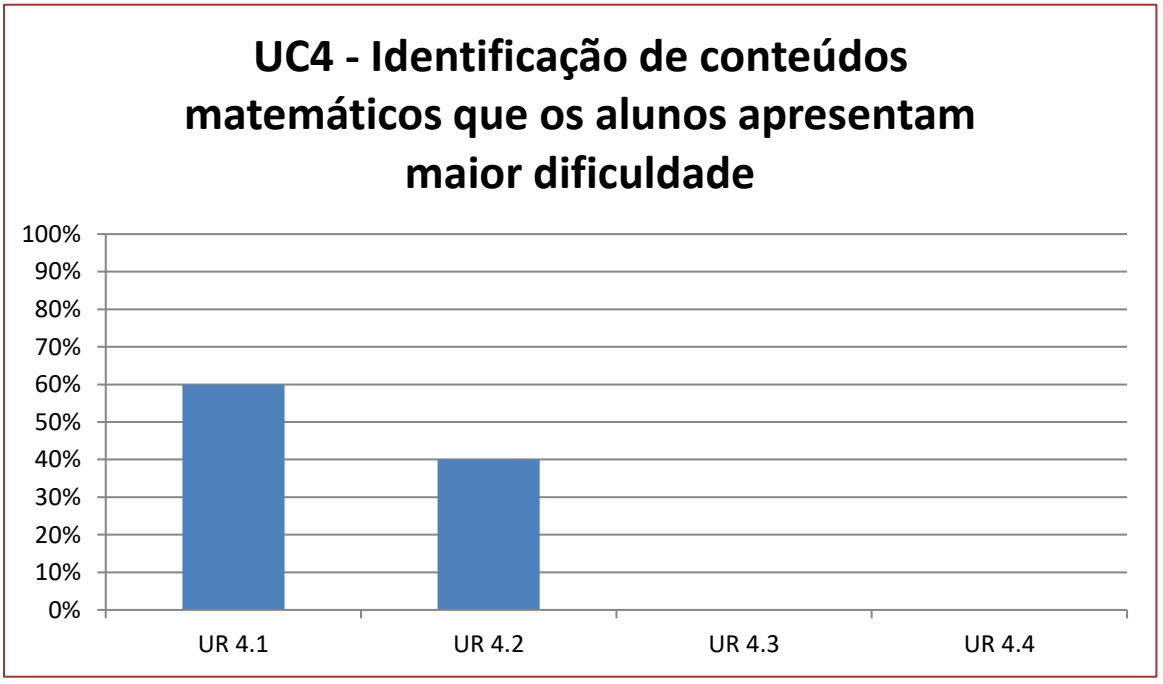
Quadro 9 – Respostas das UR referentes à questão 04. (continuação)

UC4 - Identificação de conteúdos matemáticos que os alunos apresentam maior dificuldade	
UR 4.2 Exemplificação sem levantamento de hipóteses	Frequência: 4 registros (40%) *P5: Acredito que todas aquelas que necessitam de um raciocínio lógico espacial [imaginar as coisas se movendo no espaço de uma forma lógica].* *P6: Funções. Eles apresentam dificuldade em identificar variáveis dependentes e independentes, bem como em resolvê-las.* *P7: No Ensino Médio e Superior, qualquer parte ensinada envolvendo cálculo, mas em geral: potências, logaritmos e trigonometria.* *P9: No conteúdo de movimento oblíquo (equações do 2º grau), em ondulatória (equações trigonométricas de seno e cosseno).*
UR 4.3 Ausência de exemplos	Frequência: 0 registro (%)
UR 4.4 Não contempla a pergunta	Frequência: 0 registro (%)

Fonte: da própria autora.

No Histograma 4, podemos observar as frequências relativas registradas para cada uma das UR da UC4.

Histograma 4 – Frequências relativas das UR referentes aos dados da questão 04



Fonte: da própria autora.

De acordo com o Quadro 14 e o Histograma 4, todos os professores citaram um ou mais conteúdos matemáticos em que os alunos apresentam dificuldade no momento de resolver exercícios de Física, os quais estão representados no quadro abaixo.

Quadro 10 – Conteúdos matemáticos em que os alunos apresentam maior dificuldade.

Assunto matemático	Quantidade de repetições	Frequência relativa
Trigonometria (função e razões)	4	23,5%
Equação e/ou função do 1º e 2º grau	4	23,5%
Potenciação, em especial notação científica	3	17,6%
Álgebra	2	11,8%
Logaritmo	2	11,8%
Geometria	1	5,9%
Raciocínio lógico espacial	1	5,9%

Fonte: da própria autora.

Destacamos que foi pedido que os professores apresentassem "qual o conteúdo matemático em que os alunos apresentam maior dificuldade", e alguns professores citaram áreas do conhecimento matemático, como a Álgebra e a Geometria.

Por mais que todos citassem conteúdos matemáticos, apenas 60% dos professores fizeram levantamento de hipóteses. Dentre as hipóteses apresentadas destacamos:

- contato superficial ou irrelevante com determinados assuntos no Ensino Fundamental;

- obstáculo epistemológico advindo da separação entre a Aritmética e a Álgebra, que ocorre entre o 6º e 7º ano do Ensino Fundamental;

- falhas ou formação inadequada na base (Ensino Fundamental);

- excesso de símbolos;

- falta de contextualização no Ensino Fundamental.

- **Análise desta Unidade:**

Diante dos registros, percebemos que não há um consenso quanto ao conteúdo matemático em que os alunos apresentam maior dificuldade. Se olharmos para as grandes áreas do conhecimento matemático, notamos que as maiores dificuldades concentram-se na Álgebra, com destaque para a Trigonometria e relações com a Geometria.

Essa falta de domínio dos conteúdos matemáticos relaciona-se a diversos fatores, dentre eles a dificuldade de conceituar os objetos matemáticos, que se apresentam de forma muito abstrata. Segundo Duval (2003), os objetos matemáticos só são acessíveis por meio de registros de representações, pois eles não têm existência física. Porém, não pretendemos, neste trabalho, investigar o processo cognitivo da compreensão da Matemática.

Um ponto importante a ser destacado é que, com exceção de P8, que atribuiu a dificuldade dos alunos ao excesso de símbolos matemáticos, todos os outros professores que levantaram hipóteses (P1, P2, P3, P4 e P10) concluíram que o mau desempenho em Matemática é reflexo de um Ensino Fundamental precário.

Tendo em vista essa falha no Ensino fundamental destacada pelos participantes e tomando o professor e os saberes docentes como foco, encontramos um trabalho

realizado por Brito e Morey (2004, p. 68-69), que, ao realizar uma pesquisa cujo objetivo foi verificar as dificuldades em Geometria e Trigonometria sentidas por professores do Ensino Fundamental, constataram que

> [...] as dificuldades dos professores em trigonometria estão intimamente relacionadas à formação escolar das décadas de 70 e 80, caracterizada, entre outros aspectos, pelo descaso para com a trigonometria; pela formalização precoce de conceitos geométricos e trigonométricos presente nos livros didáticos; e pela memorização de procedimentos sem a compreensão dos mesmos.

Esse é um exemplo nas áreas de Trigonometria e Geometria, mas os mesmos problemas também são constatados nos outros ramos da Matemática. Como já exposto no primeiro capítulo desta dissertação, os dados do PISA vêm mostrando o baixo rendimento em Matemática do Brasil.

Mas onde está a raiz do problema? Na formação docente? Na estrutura curricular? No sistema? Para responder essas complexas questões seria necessária uma investigação profunda para então levantarmos hipóteses a respeito do ensino de Matemática no Ensino Fundamental, o que não é o foco deste trabalho.

5.2.5. UNIDADE TEMÁTICA DE CONTEXTO 05

O objetivo da questão 05 era saber se os professores receberam noções a respeito do tema matematização na formação inicial.

- **Justificativa teórica e pretensões:**

Como já apresentado neste trabalho, o processo de matematização faz parte das discussões epistemológicas a respeito da natureza do conhecimento físico, sendo tais discussões essenciais na formação inicial do futuro professor. Segundo Adúriz-Bravo, Izquierdo e Estany (2002, p. 466, tradução nossa), "a dimensão metacientífica (filosófica, a ciência histórica e sociológica) é um dos principais domínios do conhecimento profissional do professor, capaz de dar estrutura e coerência para as demais".

Diante disso, esperamos que os professores que receberam aportes de História da Ciência e/ou História e Filosofia da Ciência indiquem ter visto/estudado o tema matematização.

- **Respostas da questão 05:**

No Quadro 16, apresentamos os registros obtidos agrupados em suas correspondentes UR. Há também o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC5.

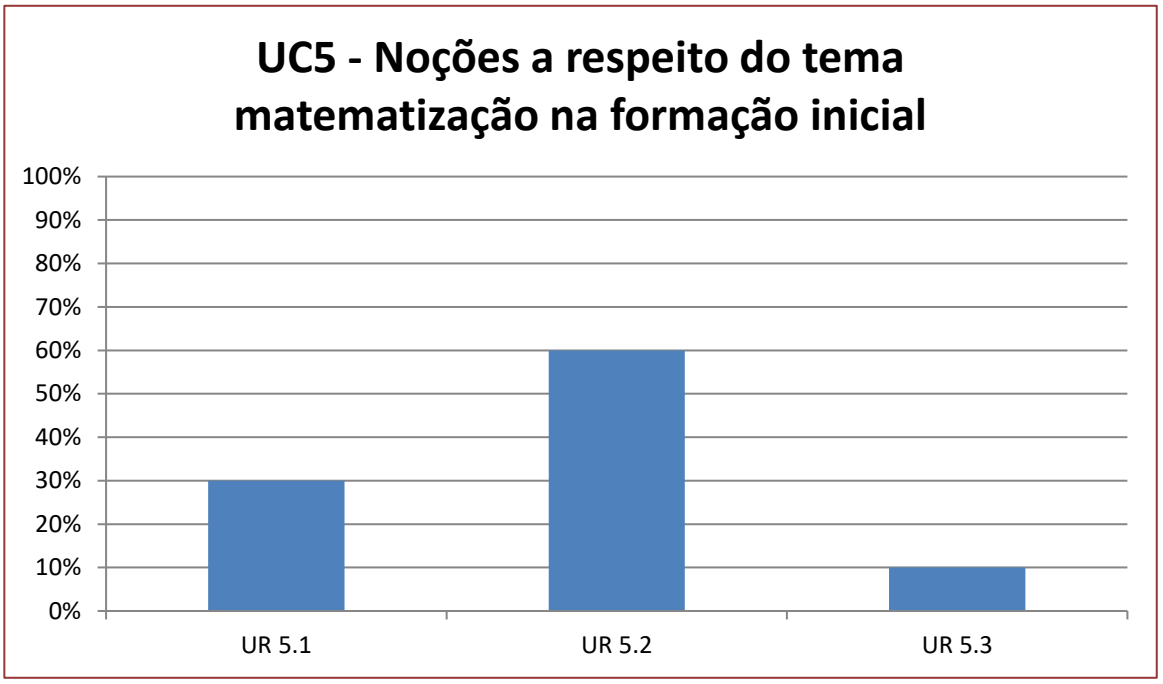
Quadro 11 – Respostas das UR referentes à questão 05.

UC5 - Noções a respeito do tema matematização na formação inicial	
UR 5.1 Noções do tema matematização	Frequência: 3 registros (30%) *P4: De maneira ampla, no que diz respeito ao pensar matematicamente, ou seja, pensar, raciocinar e trabalhar Matemática no nosso cotidiano.* *P2: Lembro-me de alguns exemplos da Álgebra Linear com relação à programação de imagens em engenharia cartográfica e computação.* *P10: Acredito ter estudado durante a disciplina de estruturas das teorias, pois estudamos o desenvolvimento de algumas teorias.*
UR 5.2 Ausência de noções do tema matematização	Frequência: 6 registros (60%) *P1: Não posso afirmar que vi esse tema de forma específica, entretanto ele foi corrente ao longo de toda a graduação, quando utilizávamos a linguagem matemática para analisar os problemas físicos nas diversas disciplinas.* *P3: Absolutamente nada. Minha graduação foi um curso de bacharelado.* *P5: Com o termo matematização nada. Mas estudamos muitas coisas sobre a Matemática.* *P6, P9: Nada que eu me recorde.* *P7: Bem, especificamente nada, mas nem precisaria, pois estava intrínseco nas aulas e nas avaliações o grau elevado de matematização da Física.*
UR 5.3 Não contempla a pergunta	Frequência: 1 registro (10%) *P8; Na graduação aprendemos muitas fórmulas, elaborá-las também, por meio de cálculo diferencial e integral aplicados a determinadas situações da realidade física.*

Fonte: da própria autora.

No Histograma 5, podemos observar as frequências relativas registradas para cada uma das UR da UC5.

Histograma 5 – Frequências relativas das UR referentes aos dados da questão 05.



Fonte: da própria autora.

Com base no Quadro 16 e no Histograma 5, constatamos que a maioria (60%) afirmou não ter recebido noções a respeito do tema matematização na graduação e que um (10%) professor respondeu de maneira confusa à pergunta, o que nos permite inferir que ele também não recebeu tais noções.

Dentre os três (30%) que afirmaram ter recebido noções quanto ao tema em questão, um deles disse que "acredita ter estudado", o que mostra incerteza quanto ao assunto. P4 afirmou ter recebido essas noções de forma ampla, já P2 diz lembrar-se de alguns exemplos que se referem especificamente à Engenharia Cartográfica e Computação.

- **Análise desta Unidade:**

Podemos relacionar as respostas dadas pelos professores nesta questão com a primeira questão deste questionário, na qual os professores indicaram se cursaram disciplinas que abordaram noções de História da Ciência.

Os três professores (30%) que afirmaram ter visto/estudado o tema matematização (UR 5.1) frequentaram disciplinas com noções de História e Filosofia da Ciência, mas o que chama atenção é que dois deles (P2 e P4) cursaram licenciatura em Matemática e apenas P10, licenciatura em Física.

Na sequência, podemos observar que dos seis (60%) professores que afirmaram não ter estudado o assunto em questão, P3 e P6 (20%) foram os dois únicos professores que não receberam aportes históricos na formação inicial. P5 (10%) afirmou ter cursado disciplinas de História da Física e Evolução dos Conceitos da Física, e P9 (10%) cursou apenas História da Física. Outro ponto interessante a ser destacado é que P1 e P7 (20%) afirmaram não ter estudado o termo matematização, mas admitiram que as noções a respeito da matematização foram correntes ao longo do curso, pois estavam intrínsecas às aulas. Uma curiosidade é que P1 e P7 cursaram a mesma disciplina, *Evolução dos conceitos e Teorias da Física*, na mesma Universidade, UEL.

P8 (10%), cuja resposta não contemplou a pergunta (UR 5.3), cursou a disciplina de História da Física.

Diante da relação entre esta questão e a primeira, inferimos que as disciplinas de História e Filosofia da Ciência estão diretamente ligadas ao fato de os professores afirmarem ter noções a respeito do tema matematização, e que os professores que cursaram apenas História da Física não receberam, ou receberam de forma insatisfatória, tais noções. Uma hipótese seria uma História da Ciência transmitida de forma linear.

Concluímos que há um equívoco nos cursos de licenciatura em Física, pois, ao promover discussões histórico-filosóficas a respeito do processo de construção do conhecimento físico, o processo de matematização não é explicitado, ou pouco abordado, o que leva à hipótese de uma falha epistemológica a respeito da compreensão da Física.

5.2.6. UNIDADE TEMÁTICA DE CONTEXTO 06

Nesta questão, buscamos conhecer qual a compreensão dos professores a respeito da matematização.

- **Respostas da questão 06:**

No Quadro 17, apresentamos os registros obtidos agrupados em suas correspondentes UR. Há também o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC6.

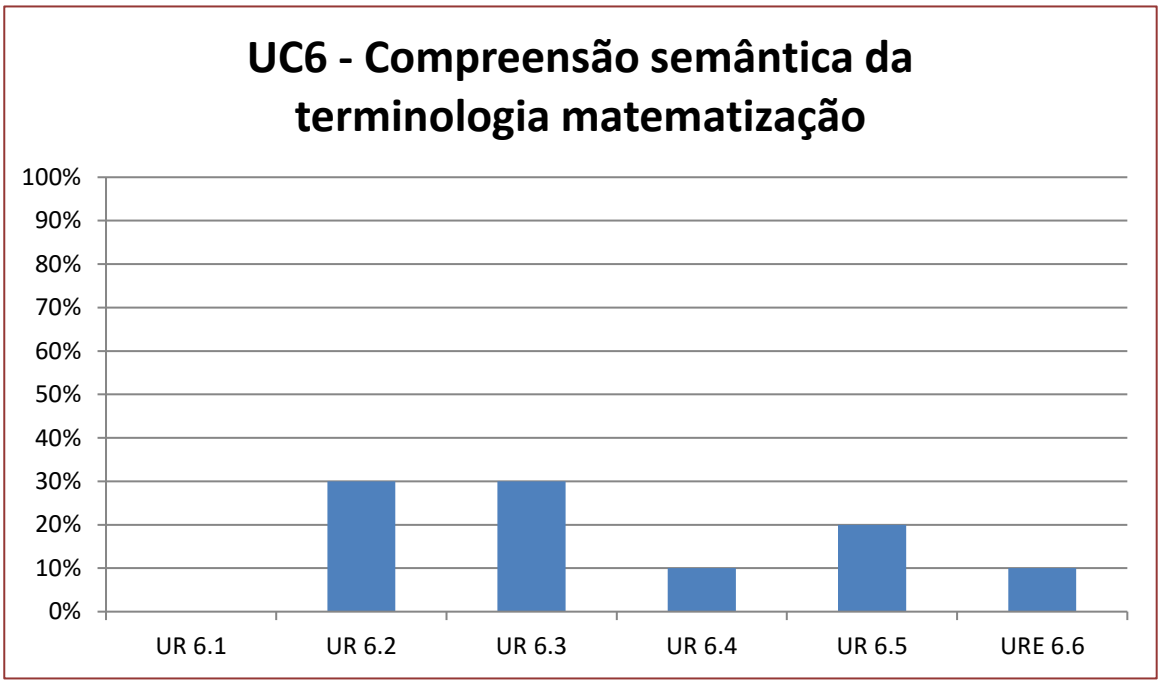
Quadro 12 – Respostas das UR referentes à questão 06.

UC6 - Compreensão semântica da terminologia matematização	
UR 6.1 Desconhecimento do termo	Frequência: 0 registro (%)
UR 6.2 Definição segundo o consenso científico atual	Frequência: 3 registros (30%) *P1: Matematizar é utilizar a linguagem matemática para expor e interpretar conceitos diversos.* *P6: Descrever matematicamente fenômenos e conceitos.* *P8: Para mim matematização é o processo de representação da realidade vivida por meio de símbolos, afim de estabelecer relações segundo determinados critérios.*
UR 6.3 Divergência semântica	Frequência: 3 registros (30%) *P4: No mundo contemporâneo, onde a identidade digital se destaca a matematização pode ser entendida como uma prática disciplinar que nos ensina a pensar logicamente.* *P5: O indivíduo de alguma forma assimila intelectualmente o que vê/ouve sobre a matemática e passa a entender fenômenos do dia a dia a partir dessas assimilações.* *P9: Seria a aplicação da Matemática em si junto ao ensino da teoria. Conceitos de cálculos e operações matemáticas.*
UR 6.4 Polissemia	Frequência: 1 registro (10%) *P3: Explicar todo fenômeno por meio de conceitos matemáticos.*
UR 6.5 Não contempla a pergunta	Frequência: 2 registros (20%) *P2: Compartilho com a educadora Maria Helena do Rio Grande do Sul – RS, sobre o processo de matematização: "Na matematização, à medida que vamos analisando informações, saberes, transformando-os em gráficos, em linguagem matemática, vamos compreendendo a razão de ser das situações problemáticas, por que isso aconteceu, quem está por detrás disso, a que contexto social estávamos e estamos submetidos, o que os números, os gráficos revelam, apresentam implicitamente, o que está por detrás de cada dado numérico, de cada informação, matematicamente representada" (p. 4). (Maria Helena Weschenfelder).* *P10: O estudo de parte desse processo foi importante para o desenvolvimento das relações de variáveis que descrevem um dado fenômeno, assim como o desenvolvimento histórico de uma teoria.*
URE 6.6 Incerteza na resposta	Frequência: 1 registro (10%) *P7: Usar a linguagem matemática?*

Fonte: da própria autora.

No Histograma 6, podemos observar as frequências relativas registradas para cada uma das UR da UC6.

Histograma 6 – Frequências relativas das UR referentes aos dados da questão 06.



Fonte: da própria autora.

Com base no Quadro 17 e no Histograma 6, constatamos que todos os professores, inclusive os que não receberam noções a respeito da matematização, descreveram o que eles entendiam acerca desse tema.

Apenas três (30%) professores apresentaram uma definição segundo o consenso científico atual (UR 6.2). Entre os demais, três (30%) apresentaram divergência semântica (UR 6.3) e um (10%) descreveu a matematização de forma polissêmica. Percebemos que dois (20%) professores ofereceram respostas que não contemplavam a pergunta, sendo que P2 tentou explicar a matematização por meio de uma citação que não apresenta uma definição, mas sim toda uma estrutura histórico-epistemológica que envolve o processo de matematização. Já P7 (10%) mostrou incerteza na resposta, respondendo a questão com outra pergunta.

- **Análise desta Unidade:**

Analisando esta questão com as relações citadas na questão anterior, percebemos uma inconsistência, pois P6 afirmou não ter estudado a respeito da matematização na formação inicial, P8 apresentou uma resposta confusa e P1 disse não ter estudado especificamente o termo matematização, mas que este processo estava presente nas aulas.

Isso nos leva a concluir que os professores apresentam visões equivocadas a respeito da matematização e que as disciplinas de História e Filosofia da Ciência não foram suficientes para sua compreensão. Mais uma vez, destacamos a visão ingênua da Matemática como ferramenta da Física.

Esses dados são preocupantes e nos fazem refletir a respeito da epistemologia e saberes docentes, pois percebemos uma distorção quanto ao entendimento da Física e ao

processo de desenvolvimento dos conceitos e teorias. Será que os professores estão preocupados apenas com os conhecimentos do conteúdo? Quais são esses conhecimentos? Segundo Almeida e Biajone (2007 *apud* ARAMAN, 2011, p. 32), o conhecimento do conteúdo da disciplina

> [...] refere-se às compreensões do professor acerca da estrutura da disciplina, de como ele organiza cognitivamente o conhecimento da matéria que será objeto de ensino. Essa compreensão requer ir além dos fatos e conceitos intrínsecos à disciplina e pressupõe o conhecimento das formas pelas quais os princípios fundamentais de uma área de conhecimento estão organizados.

De acordo com esses autores, o conhecimento do conteúdo é muito mais amplo do que apenas dominar o conteúdo a ser ministrado em aula. É preciso que o professor faça reflexões teóricas e epistemológicas a respeito da sua Ciência. Segundo Shulman (1986, p. 9),

> O professor precisa não somente compreender que algo é assim; o professor deve ainda compreender por que é assim, quais motivos justificam que isso pode ser afirmado, e sob quais circunstâncias nossa crença na justificação pode ser enfraquecida ou até mesmo negada. Além disso, nós esperamos que o professor compreenda porque um determinado tópico é particularmente central para uma disciplina enquanto um outro qualquer possa ser periférico.

Ressaltamos que a História da Ciência propicia a compreensão dos aspectos citados por Shulman (1986) e as disciplinas que abordam a HC também deveriam propiciá-los.

5.2.7. UNIDADE TEMÁTICA DE CONTEXTO 07

Na questão 07, pretendíamos conhecer se os professores diferenciavam a matematização e a modelagem matemática. Ressaltamos que estamos cientes que a modelagem matemática não faz parte da maioria dos currículos dos cursos de Licenciatura em Física nem das demais graduações cursadas pelos participantes não licenciados em Física.

- **Justificativa teórica e pretensões:**

Pensamos ser pertinente inserir esta questão pelo fato de alguns professores apresentarem uma visão polissêmica do termo matematização ou o julgarem sinônimo de modelagem matemática.

Entendemos que essa aparente confusão refere-se ao fato de os princípios da modelagem passarem pelos princípios da matematização. Como já exposto no Capítulo 2 deste trabalho, a matematização é um dos processos da modelagem matemática.

Dessa forma, pretendemos investigar se eles reconhecem a diferenciação dos termos e se há o entendimento de matematização como processo da modelagem.

- **Respostas da questão 07:**

No Quadro 18, apresentamos os registros obtidos agrupados em suas correspondentes UR. Há também o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC7.

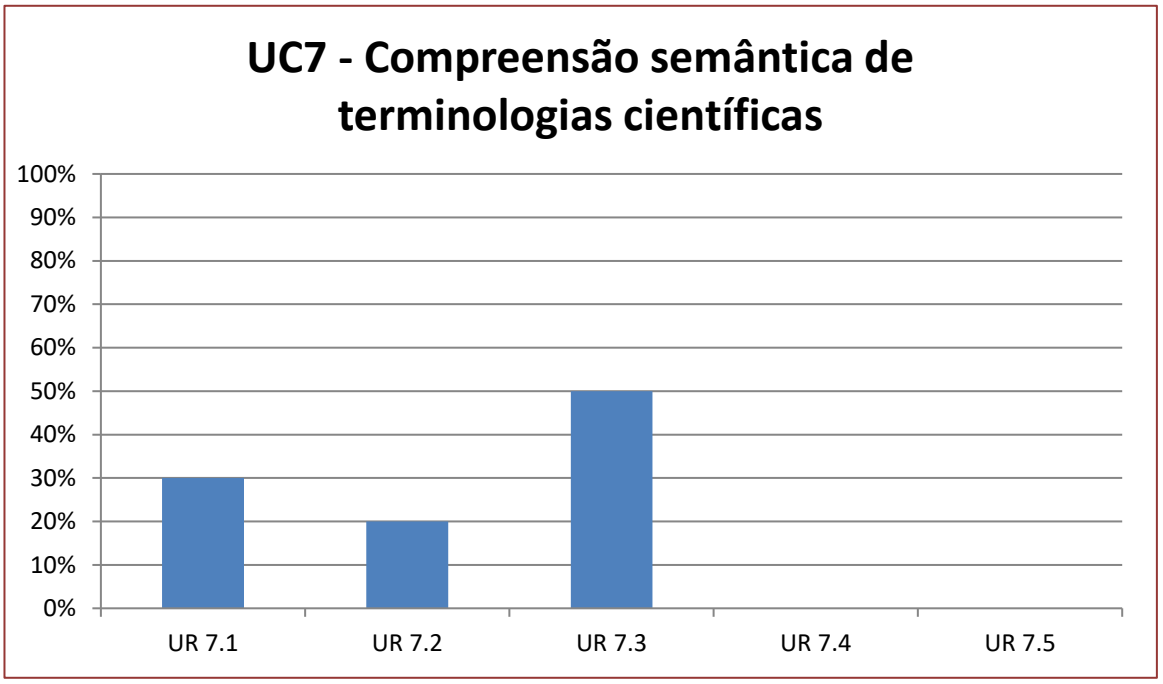
Quadro 13 – Respostas das UR referentes à questão 07.

UC7 - Compreensão semântica de terminologias científicas	
UR 7.1 Diferenciação com justificativa segundo o consenso científico atual	Frequência: 3 registros (30%) *P1: Sim, pois nem toda a modelagem é matemática. Essa é uma das formas de modelo científico, entretanto existem outros tipos, que não utilizam necessariamente a linguagem matemática.* *P3: Sim. Do meu ponto de vista, a modelagem matemática busca simular situações reais com o intuito de prever o comportamento destas. A modelagem visa o lucro em um projeto, com o objetivo de economizar-se em material, mão de obra e tempo de trabalho. Já a matematização visa explicar ("provando por A mais B") as situações reais. Não vejo isso como possibilidade de obter lucro; apenas a difusão do conhecimento.* *P8: [...] acredito que matematizar é representar algo por meio de símbolos. Modelar acho que é mais abrangente e inclusive engloba o processo de matematização e tem como propósito buscar uma certa inteligibilidade sobre o meio e porque não generalização.*
UR 7.2 Diferenciação sem justificativa	Frequência: 2 registros (20%) *P5: Sim, pois tudo é diferençável.* *P6: Acredito que sim, mas não sei justificar.*
UR 7.3 Diferenciação com justificativa divergente ou polissêmica	Frequência: 5 registros (50%) *P2: Sim é possível diferenciar matematização de modelagem, a matematização não depende apenas de formulações de equações e de modelos matemáticos para descrever um fenômeno, e sim caminha por trilhas da própria metodologia de ensino, das práticas pedagógicas que norteiam o processo de ensino-aprendizagem.* *P4: Acredito que matematização esteja associada ao raciocínio enquanto modelagem relaciona-se mais com "decorar" regras e fórmulas para resolução de problemas, sem necessariamente pensar logicamente.* *P7: Matematizar creio que seja um termo mais geral para utilização da linguagem matemática. E modelos é algo mais específico.* *P9: Creio que sim. A matematização seria apenas reduzir o problema a simples cálculos, enquanto que na modelagem iríamos interpolar conceitos físicos aos cálculos.* *P10: A modelagem pode ser usada para representar um processo de matematização. Acredito que temos duas linguagens que se complementam.*
UR 7.4 Ausência de diferenciação com justificativa	Frequência: 0 registro (%)
UR 7.5 Ausência de diferenciação	Frequência: 0 registro (%)

Fonte: da própria autora.

No Histograma 7, podemos observar as frequências relativas registradas para cada uma das UR da UC7.

Histograma 7 – Frequências relativas das UR referentes aos dados da questão 07.



Fonte: da própria autora.

Com base no Quadro 18 e no Histograma 7, constatamos que todos os professores diferenciaram a matematização e a modelagem matemática [10], dentre eles, oito (80%) apresentaram justificativa, sendo que três (30%) diferenciaram segundo o consenso científico atual (UR 7.1) e cinco (50%) apresentaram diferenciação divergente ou polissêmica.

- **Análise desta Unidade:**

Como já esperado, a maioria dos professores não soube diferenciar os termos segundo o consenso científico atual, pois a modelagem matemática não pertence à estrutura curricular dos cursos de Física. Apenas P8 entende que a matematização é um dos processos da modelagem matemática.

Acreditamos que entender o processo de modelagem matemática contribuiria na compreensão do processo de matematização dos conteúdos físicos.

[10] Por um equívoco da autora desta dissertação, a questão 07 do questionário apresentava apenas o termo modelagem e não modelagem matemática, por essa razão alguns professores se confundiram quanto ao tipo de modelagem.

5.2.8. UNIDADE TEMÁTICA DE CONTEXTO 08

Visando as questões 09 e 10, pedimos para que os participantes citassem conteúdos físicos matematizados.

- **Respostas da questão 08:**

No Quadro 19, apresentamos os registros obtidos agrupados em suas correspondentes UR. Há também o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC8.

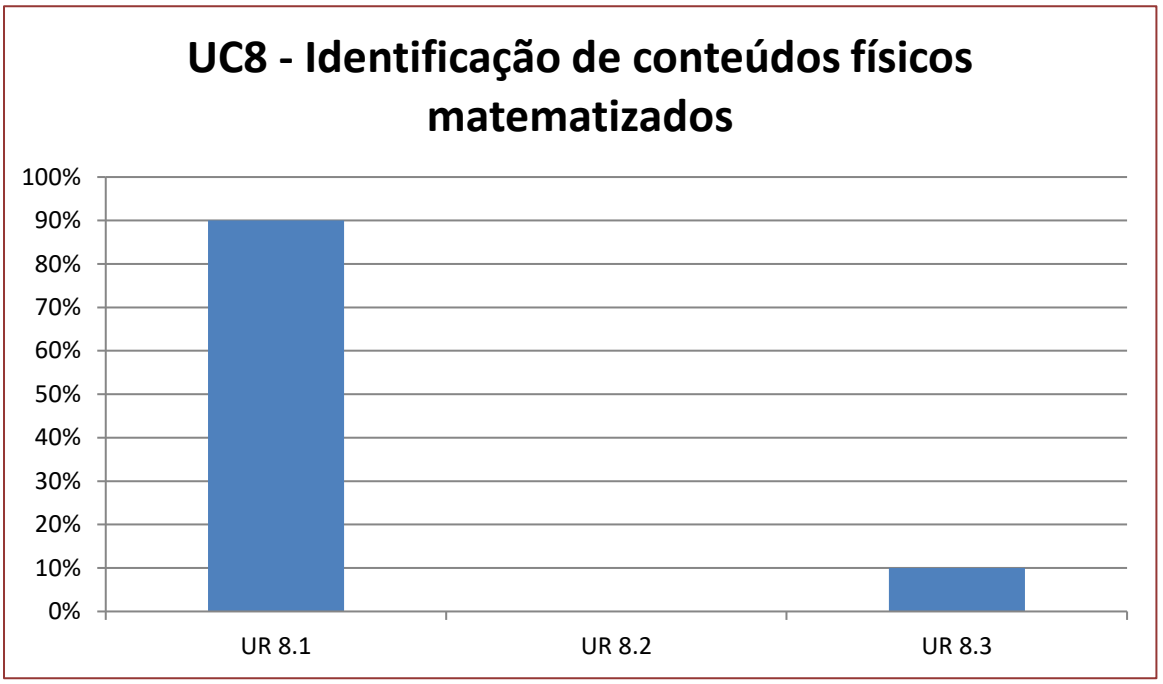
Quadro 14 – Respostas das UR referentes à questão 08.

UC8 - Identificação de conteúdos físicos matematizados	
UR 8.1 Exemplificação de conteúdo físico	Frequência: 9 registros (90%) *P1: A mecânica quântica.* *P2: As Leis do Movimento.* *P3: Toda a parte de Cinemática ensinada no Ensino Médio, MHS, Óptica Geométrica, Acústica.* *P4: Formação de imagens em espelhos planos associados em ângulos.* *P6: Cinemática.* *P7: A mecânica quântica matricial de Jordan-Born-Heisenberg.* *P8: Fluidos (hidrostática, hidrodinâmica).* *P9: Cálculo vetorial de forças.* *P10: Astronomia.*
UR 8.2 Ausência de exemplificação	Frequência: 0 registro (0%)
UR 8.3 Não contempla a pergunta	Frequência: 1 registro (10%) *P5: Só se você me citar um que não envolva.*

Fonte: da própria autora.

No Histograma 8, podemos observar as frequências relativas registradas para cada uma das UR da UC8.

Histograma 8 – Frequências relativas das UR referentes aos dados da questão 8.



Fonte: da própria autora.

Com exceção de P5, todos citaram conteúdos físicos matematizados. As análises desta questão estarão presentes nas questões 09 e 10.

5.2.9. UNIDADE TEMÁTICA DE CONTEXTO 09

Pretendíamos, com a questão 09, saber se os professores conheciam todos os conteúdos matemáticos utilizados nos exemplos por eles dados na questão anterior. Com base nas respostas oferecidas nesta questão iremos analisar a questão 10.

- **Respostas da questão 09:**

No Quadro 20, apresentamos os registros obtidos agrupados em suas correspondentes UR. Há também o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC9.

Destacamos que o professor P5 não respondeu esta questão e a resposta de P10 está fragmentada nas UR 9.2 e UR 9.5.

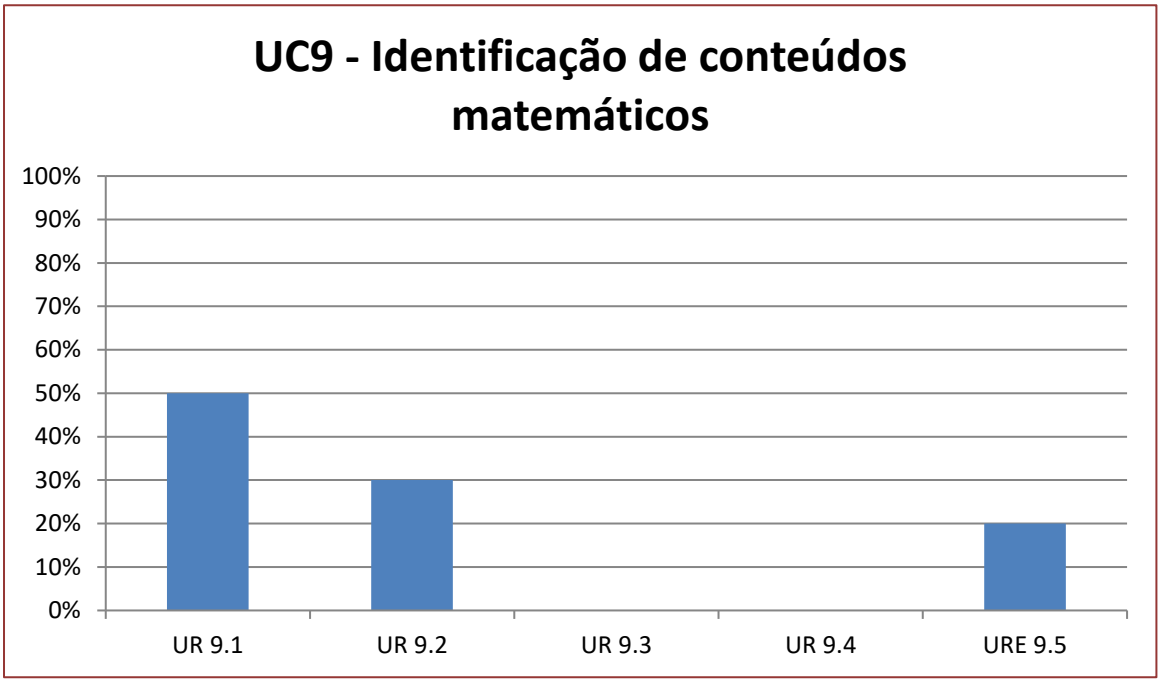
Quadro 15 – Respostas das UR referentes à questão 09.

UC9 - Identificação de conteúdos matemáticos	
UR 9.1 Identificação dos principais conteúdos matemáticos envolvidos	Frequência: 5 registros (50%) *P1: Equações diferenciais, cálculo (derivação e integração), matrizes e geometria.* *P2: Podemos dizer que existem alguns conteúdos fundamentais de matemática, como por exemplo, a própria ideia de função, de derivada primeira da posição x com relação ao tempo, adquirindo a velocidade, a ideia de derivada segunda da posição em relação ao tempo, adquirindo a aceleração. Construção de gráficos, tabelas, e entre outras questões essenciais de operações da matemática.* *P3: Toda a parte de Cinemática ensinada no Ensino Médio. Os conceitos de equações da reta e parábola são essenciais para esta parte da Física. Os conceitos de trigonometria ao explicar o MHS. Os conceitos da geometria na explicação da Óptica Geométrica. O conceito de logaritmo na solução de exercícios de Acústica.* *P4: Expressão numérica e equações do 1º grau.* *P7: matrizes, operadores, comutação, vetores, geometria espacial de Reymam.*
UR 9.2 Identificação de parte dos principais conteúdos matemáticos envolvidos	Frequência: 3 registros (30%) *P6: Funções de 1º e 2º grau.* *P9: Somatória de vetores.* *P10: Relações de pertinência.*
UR 9.3 Divergências entre o conteúdo matemático e o exemplo citado	Frequência: 0 registro (%)
UR 9.4 Não contempla a pergunta	Frequência: 0 registro (%)
URE 9.5 Cita áreas de conhecimento matemático e não conteúdos matemáticos	Frequência: 2 registros (20%) *P8: Álgebra, Geometria.* *P10: Geometria, Álgebra e relações de pertinência.*

Fonte: da própria autora.

No Histograma 9, podemos observar as frequências relativas registradas para cada uma das UR da UC9.

Histograma 9 – Frequências relativas das UR referentes aos dados da questão 09.



Fonte: da própria autora.

Com base no Quadro 20 e no Histograma 9, percebemos que cinco (50%) professores identificaram os principais conteúdos matemáticos envolvidos, três (30%) identificaram parte deles e dois (20%) citaram áreas de conhecimento matemático e não conteúdos matemáticos.

Não podemos inferir se esses professores que identificaram parte do conteúdo ou os ramos da Matemática não sabem, esqueceram-se ou não quiseram responder todos os conceitos matemáticos envolvidos.

5.2.10. UNIDADE TEMÁTICA DE CONTEXTO 10

Nesta questão, buscamos conhecer se os professores apresentariam alternativas para enunciar/desenvolver o assunto físico matematizado citado na questão 08 sem os conteúdos matemáticos elencados na questão 09.

- **Justificativa teórica e pretensões:**

Pretendíamos observar se há coerência no raciocínio apresentado pelos professores nesta questão com os apresentados na questão 02, que explicita o papel da Matemática na Física, e na questão 03, que expõe a influência do saber matemático.

- **Respostas da questão 10:**

No Quadro 21, apresentamos os registros obtidos agrupados em suas correspondentes UR. Há também o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC10.

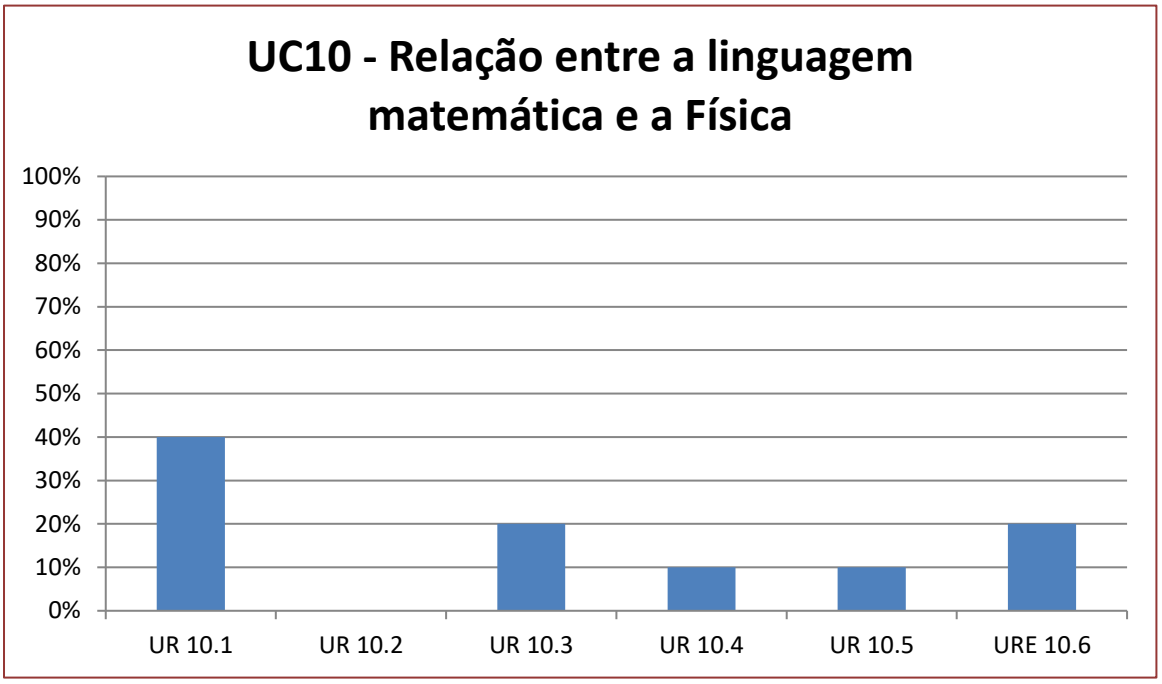
Quadro 16 – Respostas das UR referentes à questão 10.

UC10 - Relação entre a linguagem matemática e a Física	
UR 10.1 Reconhece a possibilidade e apresenta outra alternativa	Frequência: 4 registros (40%) *P4: Através de espelhos o professor pode induzir ou deduzir com os alunos a quantidade de imagens formadas. O assunto deve ser abordado levando-se em conta o entendimento do dia a dia. Mais importante do que a apresentação das fórmulas é o processo físico, fazendo com que os alunos percebam a grandiosidade do ensino da Física. A modelagem pode contribuir de forma significativa para uma visão científica mais adequada à prática moderna.* *P5: O conteúdo não, pois entendo a Física de forma intrínseca a Matemática. Entretanto, alguns dos processos mentais possibilitados pelo aprendizado da Física poderiam ser ensinados na linguagem do aprendiz [ver pesquisa etnográfica]. Na linguagem do aprendiz entende-se: nos termos; nas palavras; no imaginário; na entonação de voz; nos significantes do aluno. E assim que uma comunicação estiver estabelecida, podemos conduzir o aprendiz a entender aquele mesmo processo mental nos termos da física e da matemática.* *P8: Não sei se com outra linguagem especificamente mas provavelmente com outra lógica ou simbologia, talvez isso já seja nova linguagem. Isso porque sobre a Terra temos inúmeros povos e culturas e por isso diferentes formas de ver o mundo e representá-lo que também poderíamos denominar Matemática.* *P9: Sim, na Física a visualização prática é a maior aliada. Experimentos e modelos práticos seriam uma ótima linguagem para se ensinar esse conteúdo.*
UR 10.2 Reconhece a possibilidade, mas não apresenta outra alternativa	Frequência: 0 registro (%)
UR 10.3 Não reconhece a possibilidade e comenta	Frequência: 2 registros (20%) *P1: Cientificamente não. Essa é uma Teoria Científica construída com diversos modelos matemáticos do mundo subatômico. Para questões de ensino é possível realizar adaptações que fujam da Matemática, por meio de modelos didáticos, analogias etc., o que seria suficiente para apresentar uma ideia básica do assunto para os estudantes, sem, entretanto ser possível um grande aprofundamento.* *P3: Não consigo visualizar uma alternativa para a explicação de quaisquer desses fenômenos sem um conceito matemático. Aliás, muitos dos exemplos que provo aos alunos envolvem um cálculo matemático ou um plote de uma função.*
UR 10.4 Não reconhece a possibilidade e não comenta	Frequência: 1 registro (10%) *P6: Além da forma conceitual não vejo outra saída.*
UR 10.5 Não contempla a pergunta	Frequência: 1 registro (10%) *P7: Nesse caso, temos a teoria quântica de Schroedinger que utiliza uma linguagem para descrever ondas de matéria envolvendo uma linguagem matemática "menos complicada".*
URE 10.6 Reconhece a possibilidade com ressalvas	Frequência: 2 registros (20%) *P2: Talvez fazendo alguns questionamentos sobre as quatro grandezas físicas mais relevantes do movimento, entre elas estão: tempo, posição, velocidade e aceleração. Portanto, na utilização de outra linguagem é necessário ao professor perceber quais os conhecimentos prévios dos alunos e caminhar na perspectiva de proporcionar os conceitos por meio de experimentações, observações, relatos e reflexões, estimulando a investigação científica.* *P10: Acredito que parte dele sim, por meio de analogias, mas a matemática é indispensável para o todo.*

Fonte: da própria autora.

No Histograma 10, podemos observar as frequências relativas registradas para cada uma das UR da UC10.

Histograma 10 – Frequências relativas das UR referentes aos dados da questão 10.



Fonte: da própria autora.

Com base no Quadro 21 e no Histograma 10, podemos perceber que quatro (40%) professores reconhecem a possibilidade de enunciar/desenvolver o conteúdo físico citado na questão 08 de maneira não matematizada. Três (30%) docentes reconhecem não ser possível, dois (20%) reconhecem a possibilidade com ressalvas e uma (10%) resposta não contemplou a pergunta.

- **Análise desta Unidade:**

Os professores que reconheceram a possibilidade de enunciar/desenvolver o conteúdo físico sem a Matemática apresentaram alternativas empíricas como experimentação, observação e indução. Entendemos que tais alternativas não possibilitariam a enunciação e/ou desenvolvimento do conteúdo, e sim uma visualização de um fenômeno e uma dedução de uma possível regularidade.

Comparando as respostas de P4, P5, P8 e P9 da UR 10.1 com as questões 02 e 03, percebemos certa inconsistência nos relatos, como podemos observar em P4, que afirmou, na questão 02, que "uma compreensão adequada dos conceitos físicos passa por uma adequada modelagem matemática" e na questão 03 que o saber matemática é decisivo na aprendizagem de conteúdos físicos. Nessa questão, ele afirma que "o assunto deve ser abordado levando-se em conta o entendimento do dia a dia" por meio de indução e dedução.

Concordamos que o excesso de matematização, percebida por uma formalização mecânica e sem significado, é extremamente prejudicial ao ensino de Física e que a compreensão conceitual deve preceder os cálculos matemáticos. Porém, tentar excluir a Matemática descaracterizaria o conhecimento físico.

5.3. ANÁLISE GERAL

No decorrer desta investigação, procuramos bases teóricas que discutissem o papel da matematização na Física e no seu ensino. Os autores que estudamos, defendem que a matematização é um processo de tradução, adaptação e transformação na construção de um conhecimento. Segundo esses autores, a Matemática é uma linguagem utilizada pela Física e exerce o papel de estruturadora do conhecimento físico.

Recorremos a estudos que evidenciam a relevância da História e a Filosofia da Ciência no ensino de Ciências e na formação de professores.

Buscamos, ainda, estudos a respeito da epistemologia do professor e saberes docentes. Os autores que estudamos defendem que o professor, ao compreender melhor a sua área e os conteúdos que ensina, estará munido de conhecimentos que podem ser incorporados em sua prática. Segundo Shulman (1986), o conhecimento do conteúdo é um conhecimento que vai além dos fatos e conceitos intrínsecos à disciplina, e abrange também o entendimento dos seus processos de construção e validação.

Dessa forma, podemos inferir, com base em nossos dados empíricos, que os cursos de licenciatura em Física e áreas afins e as disciplinas com conteúdos de HFC não foram suficientes para propiciar uma formação epistemológica sólida a respeito do processo de como o conhecimento físico se constrói e se desenvolve matematicamente. Uma vez que a matematização é parte integrante do processo de construção do conhecimento físico e do interrelacionamento entre a Física e a Matemática, nossa dedução vem do fato de que a maioria dos oito (80%) professores que receberam noções de HFC não apresentou clareza e coerência quanto ao papel da Matemática no ensino de Física e no processo de matematização de fenômenos naturais.

Constatamos, ainda, que a maioria dos professores entende a Matemática como uma ferramenta utilizada pela Física; e notamos uma relação de subsidiária em que a Matemática e os conteúdos matemáticos servem para um fim determinado. A respeito da falta de domínio matemático dos alunos, os professores a atribuem um Ensino Fundamental precário.

Outro ponto que se mostrou relevante, é que os professores não são coerentes quanto à influência do saber matemático na aprendizagem dos conteúdos físicos. Na questão 04, sessenta por cento (60%) dos professores afirmaram que o saber matemático pode ser decisivo no aprender Física; já na questão 10, apenas trinta por cento (30%) afirmaram não ser possível enunciar/desenvolver o conteúdo matematizado, exemplificado na questão 08, utilizando outra linguagem que não seja a Matemática.

Um fato alarmante diz respeito ao tema matematização não ser abordado explicitamente na formação inicial. Dos três professores que afirmaram ter recebido noções a respeito da matematização, dois eram licenciados em Matemática e P10, licenciado em Física, diz acreditar ter estudado o tema. Sendo a matematização um processo na construção do conhecimento físico, consideramos uma falha epistemológica a formação inicial não abordar explícita e recursivamente tal assunto nos cursos de Física.

Em relação à modelagem matemática, sendo a matematização, ali considerada, um de seus processos, acreditamos ser pertinente a inserção do tema na formação inicial do professor de Física, pois essa se mostra metodologicamente adequada para visualização e adaptação do processo de transição do modelo real para modelo matemático (FERRI, 2006).

Destacamos que, de um modo geral, os professores que receberam noções de História e Filosofia da Ciência (40%) apresentaram melhor compreensão a respeito dos assuntos abordados. Esses dados corroboram as pesquisas e os autores citados nos capítulos anteriores, que afirmam que a História e a Filosofia da Ciência promovem a compreensão da Natureza da Ciência. Por essa razão, salientamos mais uma vez a importância da inserção dessas disciplinas na formação inicial, ainda que nossos dados nos informem que a formação inicial disciplinar de nossos entrevistados não obteve sucesso efetivo de aprendizagem.

Assim, consideramos que os resultados apresentados nessa investigação estão de acordo com as preocupações das pesquisas que abordam a relação entre a Matemática e a Física e a matematização, uma vez que visam compreender e evidenciar o papel atribuído à Matemática no ensino de Física e o processo de construção do conhecimento.

Os resultados que alcançamos com a presente pesquisa contribuem para os saberes da ação pedagógica, uma vez que a análise sistematizada que realizamos apresenta alguns elementos que evidenciam a relação profícua entre os conhecimentos da História e Filosofia da Ciência e a compreensão da Natureza da Ciência.

A investigação que realizamos colabora para as pesquisas que versam a respeito da História e Filosofia da Ciência na formação do professor, para a compreensão do processo de construção do conhecimento físico, no que se refere à matematização. Finalmente, consideramos que os resultados obtidos por meio dessa investigação trazem elementos relevantes para as pesquisas que visam um incremento e aperfeiçoamento em noções docentes e matematização no ensino de Física.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo proporcionou, em todas as etapas, muitas inquietudes e reflexões relevantes. Tais inquietações iniciaram-se em 2011, quando cursei a Especialização em Física para o novo Ensino Médio, e expandiram-se neste trabalho.

O objetivo central da nossa proposta foi investigar o papel da matematização na Física e no seu ensino segundo professores que lecionam disciplinas de Física. Para tanto, por meio de um questionário, procuramos estabelecer alguns elementos que buscaram evidenciar a presença dos conhecimentos de História e Filosofia da Ciência na estruturação do conceito de matematização, o papel desempenhado pela Matemática no ensino de Física e seus desdobramentos.

Para alcançar nossos objetivos, apresentamos diversos referenciais teóricos que sustentaram nossa investigação, evidenciando o mau desempenho dos alunos em Matemática e Ciências, bem como na Física, e a importância da História e Filosofia da Ciência no ensino de Física e na formação do professor.

No que diz respeito aos estudos relacionados à matematização, no decorrer do capítulo 2, acreditamos ser pertinente a discussão epistemológica proposta inicialmente,

bem como as definições de matematização e matematização da Física. Apresentamos, ainda, a relação entre a matematização e a modelagem matemática, e mostramos o entendimento da matematização um dos processos dessa modelagem.

Consideramos como um diferencial da nossa pesquisa, e uma contribuição para os professores de Física, a descrição do processo histórico da matematização do pêndulo simples no capítulo 3. Por meio de muita pesquisa e horas de dedicação, encontramos cartas de Galileu datadas de 1602 e o livro escaneado de Huygens do ano de 1673, motivo de muita satisfação e alegria quanto ao valor de se trabalhar com fontes primárias em nosso estudo.

No capítulo 4, apresentamos o questionário elaborado, bem como seus objetivos. A análise dos dados, fundamentada pela análise de conteúdo, permitiu-nos estruturar unitarizações temáticas que explicitam elementos na formação inicial que colaboraram para o entendimento do processo de matematização.

Diante dos resultados obtidos na análise dos dados e apoiados nos referenciais teóricos, estruturamos algumas conclusões a respeito dos registros dos professores, dentre elas a falta de clareza a respeito do papel da Matemática e da matematização no ensino de Física. Concluímos também que os professores que receberam noções de História e Filosofia da Ciência desenvolveram suas respostas de maneira mais coerente com o consenso científico atual, corroborando com as pesquisas e autores da área.

Acreditamos que nossa pesquisa colabora com resultados relevantes para a área de Educação Científica e Matemática, uma vez que evidencia e promove o alto valor cognitivo que uma discussão epistemológica a respeito da matematização e o processo de construção do conhecimento físico possuem para a formação inicial em Física, notadamente para a formação para a docência.

O estudo detalhado que apresentamos contribui para a área, ainda, uma vez que pode oferecer suporte para sistematizarmos reflexões que podem servir de referência para as ações futuras de formação do professor de Física.

Finalizamos nossas considerações com a satisfação de ter realizado uma pesquisa que vai ao encontro da preocupação que compartilhamos com muitos outros pesquisadores. E, destacamos que existem ainda diversos pontos, como por exemplo as noções de professores a respeito da construção do conhecimento físico, por que e como um conteúdo é matematizado, entre outros, para serem investigados, que ficarão como um profícuo campo para investigações futuras.

Referências

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín; IZQUIERDO, Mercè; ESTANY, Anna. Historia y Epistemología de las Ciencias: una propuesta para estructurar la enseñanza de la Filosofia de la Ciencia para el profesorado de Ciencias en formación. Enseñanza de las Ciencias, v. 20 n. 3, p. 465-476, 2002.

ADURÍZ-BRAVO, Agustín; IZQUIERDO-AYMERICH, Mercè. A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers. Science & Education. Local, v. 18, n. 9, p. 1177-1192, 2009.

ALMEIDA, Lourdes Maria Werle; BRITO, Dirceu dos Santos. Atividades de modelagem matemática: que sentido os alunos podem lhe atribuir? Ciência & Educação, Bauru, v. 11, n. 3, p. 483-498, 2005.

ALMEIDA, Argus Vasconcelos; FARIAS, Carmen Roselaine de Oliveira. A natureza da Ciência na formação de professores: reflexões a partir de um curso de licenciatura em ciências biológicas. Investigações em Ensino de Ciências, Rio Grande do Sul, v. 16, n. 3, p. 473-488, 2011.

ARAMAN, Eliane Maria de Oliveira. Contribuições da História da Matemática para a construção dos saberes do professor de Matemática. 2011. 245 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências Exatas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

BARBOSA, Jonei Cerqueira. Modelagem Matemática: O que é? Por que? Como?. Veritati, n. 4, p. 73-80, 2004.

BARDIN, Laurence. Análise de Conteúdo. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 1979.

BASSANEZI, Rodney Carlos. Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2004.

BATISTA, Irinéa de Lourdes; SALVI, Rosana Figueiredo. Perspectiva Pós-Moderna e Interdisciplinaridade Educativa: pensamento complexo e reconciliação integrativa. Ensaio. Pesquisa em Educação em Ciências, v. 8, n. 2, p. 147-159, 2006.

BATISTA, Irinéa de Lourdes. O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico-filosófica. Ciência & Educação, Bauru, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.

BIEMBENGUT, Maria Salett; HEIN, Nelson. Modelagem matemática no ensino. São Paulo: Contexto, 2000.

BIEMBENGUT, Maria Salett. 30 anos de Modelagem Matemática na Educação Brasileira: das propostas primeiras às propostas atuais. ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v.2, n. 2, p. 7-32, jul. 2009.

BOGDAN, Robert; BIKLEN, Sari. Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos. Portugal: Porto, 1994.

BRASIL. Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais (PCN+): Ciências da natureza, Matemática e suas Tecnologias, 2002.

BRITO, Arlete de Jesus; MOREY, Bernadete Barbosa. Trigonometria: dificuldades dos professores de matemática do ensino fundamental. Horizontes, Bragança Paulista, v. 22, n.1, p. 65-70, jan./jun. 2004.

BURROWES M.; FARINA C. Sobre o pêndulo isócrono de Christiaan Huygens. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 2, p. 175-179, 2005.

BURTT, Edwin Arthur. As bases metafísicas da ciência moderna. Editora Universidade de Brasília: Brasília, 1983.

CASTRO, Ruth Schmitz; CARVALHO, Anna Maria Pessoa. História da ciência: investigando como usá-la num curso de segundo grau. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 225-237, 1992.

CHAVES, Maria Isaura de Albuquerque. Modelagem na Educação Matemática: Elaboração de atividades. In: III Encontro Paranaense de Modelagem Matemática. Marabá, 2010. Disponível em: <http://www.ufpa.br/epamm2010/media/system/Trabalhos/MC15184188215.pdf >. Acesso em: 13 dez 2013.

DRAKE, Stillman. Galileu. Tradução de Maria Manuela Pecegueiro. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1981.

DUVAL, Raymond. Registros de representações semióticas e funcionamento cognitivo da compreensão em Matemática. In: Machado, S. D. A. (Org.). Aprendizagem em Matemática. Campinas, SP: Papirus, 2003.

FARINA, C. Christiaan Huygens e o pêndulo cicloidal. Apresentação: Mestrado profissional em ensino de Física. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas_seminarios/seminarios/2008_1_12_farina.pdf>. Acesso em: 09 out. 2013.

FAZENDA, Ivani Catarina Arantes. Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia. 6. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2011.

FERRI, Rita Borromeo. Theoretical and empirical differentiations of phases in the modeling process. Zentralblatt für Didaktik der Mathematik, v. 38, n. 2, p. 86-95, 2006.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello; MARTINS, Roberto de Andrade; PIETROCOLA, Maurício. A História e a Natureza da Ciência no Ensino de Ciências: obstáculos a superar ou contornar. In: XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Águas de Lindóia, 2010.

FREUDENTHAL, Hans. Mathematics as an education task. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1973.

GAVE - Gabinete de Avaliação Educacional do Ministério da Educação. PISA 2003 – Conceitos fundamentais em jogo na avaliação de literacia Matemática. Editorial do Ministério da Educação, 2004a. Disponível em: <http://www.projavi.mec.pt/np4/%7B$clientServletPath%7D/?newsId=34&fileName=1D2_pisa_2003_lite_matem.pdf>. Acesso em: 20 set. 2013.

GAVE - Gabinete de Avaliação Educacional do Ministério da Educação. Resultados do estudo internacional PISA 2003. Editorial do Ministério da Educação, 2004b. Disponível em: <http://www.gave.min-edu.pt/np3content/ ?newsId =33&fileName =relatorio _nacional_pisa2003.pdf>. Acesso em: 20 set. 2013.

GALILEI, Galileo. Le opere di Galileo Galilei: edizione nazionale sotto gli auspicii di sua maesta il re d'Italia. Volume X. [pubblicata da Antonio Favaro, Isidoro del Lungo, V. Cerruti, G. Govi, G. V. Schiaparelli, Umberto Marchesini]. Firenze: Tipografia di G. Barbèra. 1900. Disponível em: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94909c.r=Le+opere+di+Galileo+Galilei+volume+10.langPT>. Acesso em: 03 out. 2013.

GEYMONAT, Ludovico. Galileu Galilei. Tradução de Eliana Aguiar. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

GIBERT, Armando. Origens Históricas da Física Moderna. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982.

GUERRA, Andréia et al. A interdisciplinaridade no ensino das Ciências a partir de uma perspectiva histórico-filosófica. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 15, n. 1, p. 32-46, abr. 1998.

HUYGENS, Christiaan. Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricae. Paris: F. Muguet, 1673.

INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA): resultados nacionais – PISA 2012. Ministério da Educação: Brasília: O Instituto, 2013a. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/documentos/2013/tabelas_pisa_2012.pdf >. Acesso em: 10 dez. 2013.

_____. Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA): media dos países em cada área – PISA 2000 a 2012. Ministério da Educação: Brasília: O Instituto, 2013b. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais /pisa/resultados /2013/resultados_pisa_2000_2012.pdf >. Acesso em: 10 dez. 2013.

_____. Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA): resultados nacionais – PISA 2006. Ministério da Educação: Brasília: O Instituto, 2008. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/download/internacional/pisa / Relatorio_PISA2006.pdf>. Acesso em: 20 set. 2013.

_____. Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA): resultados nacionais – PISA 2009. Ministério da Educação: Brasília: O Instituto, 2012. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/ documentos/2012/relatorio_nacional_pisa_2009.pdf >. Acesso em: 19 set. 2013.

ISSA MENDES, Gabriela, H. G. Matematização da Física: uma Discussão de Episódios Históricos. 2012. Monografia (Especialização em Física para o Novo Ensino Médio) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

KARAM, Ricardo. Matemática como estruturante e Física como motivação: uma análise de concepções sobre as relações entre Matemática e Física. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis. Anais do VI ENPEC, 2007.

KARAM, Ricardo; PIETROCOLA, Maurício. Discussão das relações entre Matemática e Física no ensino de relatividade restrita: um estudo de caso. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis. Anais do VII ENPEC, 2009.

KLEIN, Julie Thompsom. Ensino interdisciplinar: Didática e teoria. In: FAZENDA, Ivani (Org.). Didática e Interdisciplinaridade. 13. ed. Campinas, SP: Papirus, 2008, p.109-132.

KOYRÉ, Alexandre. Estudos de história do pensamento científico. Tradução de Márcio Ramalho. Rio de Janeiro: Ed. Forense-Universitária; Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1982.

KOYRÉ, Alexandre. Estudos Galilaicos. Tradução de Nuno Ferreira da Fonseca. Lisboa: Dom Quixote, 1986.

LEDERMAN, Norm G. et al. Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. Journal of research in Science teaching, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.

LENOIR, Yves. Didática e Interdisciplinaridade: Uma complementaridade necessária e incontornável. In: FAZENDA, Ivani (Org.). Didática e Interdisciplinaridade. 13. ed. Campinas, SP: Papirus, 2008, p. 45-76.

LIMA, Paulo Gomes. Ciência e Epistemologia: Reflexões necessárias à pesquisa educacional. QUAESTIO, Sorocaba, SP, v.12, p. 109-138, nov. 2010.

LUCCAS, Simone; BATISTA, Irinéa de Lourdes. O papel da matematização em um contexto interdisciplinar no ensino superior. Ciência & Educação, Bauru, v. 17, n. 2, p. 451-468, 2011.

MACHADO JÚNIOR, Arthur Gonçalves. Modelagem Matemática no ensino-aprendizagem e resultados. Dissertação (Mestrado - Núcleo de Apoio ao Desenvolvimento Científico). Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da ciência: objetos, métodos e problemas. Ciência & Educação, Bauru, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MATTHEWS, Michael. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MATTHEWS, Michael. R. Metodologia e política em Ciência: o destino da proposta de Huygens de 1673 para adoção do pêndulo de segundos como um padrão internacional de comprimento e algumas sugestões educacionais. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 18, n.1, p. 7-25, abr. 2001.

MORAES, Roque. Análise de conteúdo. Revista Educação, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MOREIRA, Marco Antonio. Linguagem e Aprendizagem Significativa. In: II Encontro Internacional Linguagem, Cultura e Cognição, Belo Horizonte, 2003 (Versão revisada e ampliada de participação em mesa redonda sobre Linguagem e Cognição na Sala de Aula de Ciências). Disponível em: <www.if.ufrgs.br/~moreira/linguagem.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2012.

Museum Boerhaave. Disponível em: <http://www.museumboerhaave.nl/object/pulsilogium-replica-v19856/>. Acesso em: 10 nov. 2013.

OSADA, Jun'ichi. Evolução das ideias da física. São Paulo: Edgard Blücher; Ed. da Universidade de São Paulo, 1972.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Diretrizes Curriculares da Educação Básica. Física. Curitiba, SEED-PR, 2008. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/diretrizes/dce_fis.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2012.

PIETROCOLA, Maurício. A Matemática como estruturante do conhecimento Físico. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.19, n.1, p.89-109, ago. 2002.

PIETROCOLA, Maurício; SILVA, Cibelle Celestino. O papel estruturante da matemática na teoria eletromagnética: um estudo histórico e suas implicações didáticas. In: 3° Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2003, Bauru. Atas do 3ª Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências. Bauru: ABRAPEC, 2003. Disponível em: <http://www.nupic.fe.usp.br/Publicacoes/congressos/Cibelle_Celestino_Silva_O_PAPEL_ESTRUTURANTE_DA_MATEMATICA_NA_TEORIA_ELETROMAGNETICA.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2013.

POINCARÉ, Henri. O valor da Ciência. Tradução de Maria Helena Franco Martins. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

ROBILOTTA, Manoel Roberto. O cinza, o branco e o preto – da relevância da História da Ciência no ensino da Física. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 5, p. 7-22, jun. 1988.

ROUX, Sophie. Forms of Mathematization. Transformation of the Early Modern Concept of Construction. New York: ESM, v. 15, n. 4, 2001.

SHULMAN, Lee S. Those who understand: knowledge growth in teaching. Educational Researcher, Washington, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

SILVA, Heloísa Cristina. Matematização e modelagem matemática: possíveis aproximações. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2013.

TARDIF, Maurice. Saberes docentes e formação profissional. Petrópolis: Vozes, 2002.

TARDIF, Maurice; RAYMOND, Danielle. Saberes, tempo e aprendizagem do trabalho do magistério. Educação e Sociedade, Campinas, ano XXI, n. 73, p. 209-244, 2000.

TREFFERS, A.; GOFFREE, F. Rational analysis of realistic mathematics education: the Wiskobas program. In: STREEFLAND, L. (Ed.). International Conference for the Psychology of Mathematics Education, 1985, Utrecht. Proceedings. Utrecht: Utrecht University, 1985, v. 2, p. 97-121.

VARGAS, Milton. História da Matematização da Natureza. Estudos avançados 10, São Paulo, v. 10, n. 28, p. 249-276, 1996.

VÁZQUEZ, A. et al. Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: La comunidad tecnocientífica. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v. 6, n. 2, p. 331-3636, 2007.

Anexo A

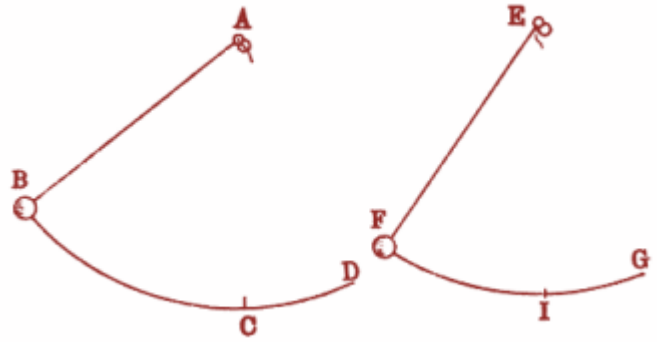
CARTA DE GALILEO A GUIDOBALDO DEL MONTE [IN MONTEBAROCCIO]. PADOVA, 29 NOVEMBRE 1602.

Bibl. Naz. Fir. Mss. Gal., P. VI, T. VI, car. 10. – Copia di mano del secolo XIX, trascritta quando fu messa insieme la raccolta Palatina dei Mss. Galileiani, e derivata da copia che dall'originale aveva tratto di sua mano VINCENZIO VIVIANI. Alla copia moderna è premessa la seguente indicazione, che certamente fu riprodotta dalla copia di pugno del VIVIANI: «Copia di lettera del Sig.r Galileo, da Padova li 29 Novembre 1602, al Sig.r Marchese Guid'Ubaldo dal Monte, a Monto Baroccio, cavata da me dall'originale mandatomi da Pesaro dal Sig.r Dottor Costanzo Pompei con sua lettera del primo Gennaio 1661 ab Inc.ne e da esso trovata in un sacco di varie scritture attenenti all'eredità di detto Sig.r Guid'Ubaldo, esistente oggi in Pesaro appresso…».

Ill.mo Sig.e e P.ron Col.mo

V. S. Ill.ma scusi la mia importunità, se persisto in voler persuaderle vera la proposizione de i moti fatti in tempi uguali nella medesima quarta del cerchio[11]; perchè, essendomi parsa sempre mirabile, hora viepiù mi pare, che da V. S. Ill.ma vien reputata come impossibile: onde io stimerei grand'errore e mancamento il mio, s'io permettessi che essa venisse repudiata dalla di lei speculazione, come quella che fusse falsa, non meritando lei questa nota, nè tampoco d'esser bandita dall'intelletto di V. S. Ill.ma, che più d'ogn'altro la potrà più presto ritrarre dall'esilio delle nostre menti. E perchè l'esperienza, con che mi sono principalmente chiarito di tal verità, è tanto certa, quanto da me confusamente stata esplicata nell'altra mia, la replicherò più apertamente, onde ancora lei, facendola, possa accertarsi di questa verità.

Piglio dunque due fili sottili, lunghi ugualmente due o tre braccia l'uno, e siano AB, EF, e gli appicco a due chiodetti A, E, e nell'altre estremità B, F lego due palle di piombo uguali (se ben niente importa se fussero disuguali), rimuovendo poi ciascuno de' detti fili dal suo perpendicolo, ma uno assai, come saria per l'arco CB, e l'altro pochissimo, come saria secondo l'arco IF; gli lascio poi nell'istesso momento di tempo andar



[11] Cfr. Vol. II, pag. 259 [Edizione Nazionale]

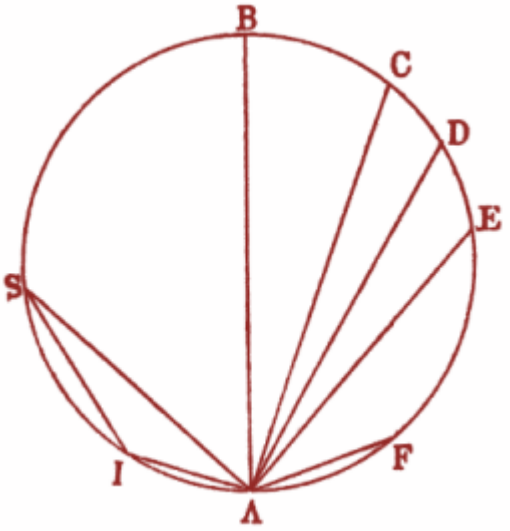
liberamente, e l'uno comincia a descrivere archi grandi, simili al BCD, e l'altro ne descrive de' piccoli, simili all'FIG; ma non però consuma più tempo il mobile B a passare tutto l'arco BCD, che si faccia l'altro mobile F a passare l'arco FIG. Di che mi rendo sicurissimo così:

Il mobile B passa per il grand'arco BCD, e ritorna per lo medesimo DCB, e poi ritorna verso D, e va per 500 e 1000 volte reiterando le sue reciprocazioni; l'altro parimente va da F in G, e di qui torna in F, e parimente farà molte reciprocazioni; e nel tempo ch'io numero, verbi grazia, le prime cento grandi reciprocazioni BCD, DCB etc., un altro osservatore numera cento altre reciprocazioni per FIG piccolissime, e non ne numera pure una sola di più: segno evidentissimo che ciascheduna particolare di esse grandissime BCD consuma tanto tempo, quanto ogni una delle minime particolari FIG. Or se tutta[12] la BCD vien passata in tanto tempo in quanto la FIG, ancora le loro metà, che sono le cadute per gli archi disuguali della medesima quarta, saranno fatte in tempi uguali. Ma anco senza stare a numerar altro, V. S. Ill.ma vedrà che il mobile F non farà le sue piccolissime reciprocazioni più frequenti che il mobile B le sue grandissime, ma sempre anderanno insieme.

L'esperienza, ch'ella mi dice aver fatta nello scatolone, può essere assai incerta, sì per non esser forse la sua superficie ben pulita, sì forse per non esser perfettamente circolare, sì ancora per non si potere in un solo passaggio così bene osservare il momento stesso sul principio del moto: ma se V. S. Ill.ma pur vuol pigliare questa superficie incavata, lasci andar da gran distanza, come saria dal punto B, liberamente la palla B, la quale passerà in D, e farà nel principio le sue reciprocazioni grandi d'intervallo, e nel fine piccole, ma non però queste più frequenti di tempo di quelle.

Quanto poi al parere irragionevole che, pigliandosi una quarta lunga 100 miglia, due mobili uguali possino passarla, uno tutta, e l'altro[13] un palmo solo, in tempi uguali, dico esser vero che ha dell'ammirando; ma se consideriamo che può esser un piano tanto poco declive, qual saria quello della superficie di un fiume che lentissimamente si muovesse, che in esso non haverà camminato un mobile naturalmente più d'un palmo nel tempo che un altro sopra un piano molto inclinato (ovvero congiunto con grandissimo impeto ricevuto, anco sopra una piccola inclinazione) haverà passato cento miglia: nè questa proposizione ha seco per avventura più inverisimilitudine di quello che si habbia che i triangoli tra le medesime parallele et in basi uguali siano sempre uguali, potendone fare uno brevissimo e l'altro lungo mille miglia. Ma restando nella medesima materia, io credo haver dimostrato questa conclusione, non meno dell'altra inopinabile.

[12] O se tutta – [CORREZIONE]
[13] l'altra – [CORREZIONE]



Sia del cerchio BDA il diametro BA eretto all'orizzonte, e dal punto A sino alla circonferenza tirate linee *utcumque* AF[14], AE, AD, AC: dimostro, mobili uguali cadere in tempi uguali e per la perpendicolare BA e per piani inclinati secondo le linee CA, DA, EA, FA; sicchè, partendosi nell'istesso momento dalli punti B, C, D, E, F, arriveranno in uno stesso momento al termine A, e sia la linea FA piccola quant'esser si voglia.

E forse anco più inopinabile parerà questo, pur da me dimostrato, che essendo la linea SA non maggiore della corda d'una quarta, e le linee SI, IA *utcumque*[15], più presto fa il medesimo mobile il viaggio SIA, partendosi da S, che il viaggio solo IA, partendosi da I.

Sin qui ho dimostrato senza trasgredire i termini mecanici; ma non posso spuntare a dimostrare come gli archi SIA et IA siano passati in tempi uguali: che è quello che cerco[16].

Al Sig.r Francesco mi farà grazia rendere il baciamano, dicendogli che con un poco d'ozio gli scriverò una esperienza, che già mi venne in fantasia, per misurare il momento della percossa[17]: perquanto al suo quesito, stimo benissimo detto quanto ne dice V. S. Ill.ma, e che quando cominciamo a concernere la materia, per la sua contingenza si cominciano ad alterare le proposizioni in astratto dal geometra considerate; delle quali così perturbate siccome non si può assegnare certa scienza, così dalla loro speculazione è assoluto il matematico.

Sono stato troppo lungo e tedioso con V. S. Ill.ma: mi perdoni in grazia, e mi ami come suo devotissimo servitore. E le bacio le mani con ogni reverenza.

Di Padova, li 29 Novembre 1602.

Di V. S. Ill.ma

Serv.re Obblig.mo

Galileo Galilei.

[14] linee utrumque AF – [CORREZIONE]
[15] le linee SI, IA uscumque – [CORREZIONE]
[16] Cfr, Vol. VIII, pag. 221, 393 [Edizione Nazionale].
[17] Cfr. Vol. II, pag. 190 [Edizione Nazionale].

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson